

FISIOLOGI TUMBUHAN

Sebuah Pendekatan Terintegrasi

Khairuna, M.Pd.



Penerbit K-Media
Yogyakarta, 2019

FISIOLOGI TUMBUHAN; Sebuah Pendekatan Terintegrasi

vi + 107 hlm.; 18 x 25 cm

ISBN: 978-602-451-517-1

Penulis : Khairuna

Tata Letak : Nur Huda A

Desain Sampul : Nur Huda A

Cetakan : Agustus 2019

Copyright © 2019 by Penerbit K-Media
All rights reserved

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang No 19 Tahun 2002.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektris maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis dan Penerbit.

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Penerbit K-Media
Anggota IKAPI No.106/DIY/2018
Banguntapan, Bantul, Yogyakarta.
e-mail: kmedia.cv@gmail.com

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Buku Fisiologi Tumbuhan. Shalawat dan Salam selalu dipersembahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW sebagai pembawa rahmat bagi alam semesta.

Buku ini disusun berdasarkan silabus Mata Kuliah Fisiologi Tumbuhan Program Studi Tadris Biologi FITK UIN Sumatera Utara, karena dirasakan adanya kesulitan dalam memahami materi fisiologi tumbuhan secara menyeluruh, maka buku ini dihadirkan kepada masyarakat umum terkhusus kepada mahasiswa Biologi.

Penulis menyadari bahwa dalam buku ini masih memerlukan penyempurnaan, oleh sebab itu masukan dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan. Semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca sekaligus menambah khasanah ilmu yang bersifat pengantar. Semoga buku ini menjadi karya yang diridhai Allah SWT. Aamiin.

Medan, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| KATA PENGANTAR..... | iii |
| DAFTAR ISI..... | iv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| A. Pengertian dan Ruang Lingkup Fisiologi Tumbuhan | 1 |
| B. Bidang Ilmu Pendukung Fisiologi Tumbuhan | 2 |
| C. Sel Pada Tumbuhan..... | 3 |
| D. Proses yang Terjadi Pada Tumbuhan | 10 |
| E. Peranan Fisiologi Tumbuhan | 13 |
| F. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan Fisiologi Tumbuhan | 15 |
| G. Rangkuman..... | 15 |
| BAB II TUMBUHAN DAN SIFAT AIR..... | 17 |
| A. Air dalam Kehidupan Tumbuhan..... | 17 |
| B. Sifat-Sifat Air | 18 |
| C. Difusi Dan Osmosis | 18 |
| D. Proses Transport Air..... | 21 |
| E. Gradien Potensial Air | 22 |
| F. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan Tumbuhan dan Sifat Air..... | 23 |
| G. Rangkuman..... | 24 |
| BAB III PERTUKARAN GAS..... | 25 |
| A. Pengertian Pertukaran Gas Pada Tumbuhan | 25 |
| B. Mekanisme Pertukaran Gas..... | 25 |
| C. Mekanisme Transpirasi | 26 |
| D. Mekanisme Membuka dan Menutupnya Stomata..... | 28 |
| E. Integrasi Ayat AL-Qur'an Berkaitan Pertukaran Gas | 30 |
| F. Rangkuman..... | 31 |
| BAB IV RESPIRASI..... | 33 |
| A. Pengertian Respirasi | 33 |
| B. Faktor yang Mempengaruhi Respirasi | 33 |
| C. Glikolisis | 34 |
| D. Siklus Krebs | 35 |
| E. Transport Elektron..... | 36 |
| F. Fotosintesis dan Fotorespirasi | 40 |
| G. Metabolisme C3, C4, CAM..... | 52 |

| | | |
|----------------------------|---|------------|
| H. | Translokasi Fotosintat | 57 |
| I. | Fotolisis | 61 |
| J. | Integrasi Ayat AL-Qur'an Berkaitan Respirasi..... | 62 |
| K. | Rangkuman..... | 62 |
| BAB V | NUTRISI TUMBUHAN..... | 65 |
| A. | Pengertian Nutrisi Tumbuhan | 65 |
| B. | Kultur Air dan Kultur Pasir | 66 |
| C. | Manfaat Elemen-Elemen (Unsur Hara) Bagi Tumbuhan..... | 67 |
| D. | Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan Nutrisi Tumbuhan | 70 |
| E. | Rangkuman..... | 70 |
| BAB VI | HORMON DAN PENGATUR TUMBUH..... | 73 |
| A. | Defenisi Hormon | 73 |
| B. | Macam-macam Hormon..... | 74 |
| C. | Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan dengan Hormon | 83 |
| D. | Rangkuman..... | 84 |
| BAB VII | GERAK PADA TUMBUHAN..... | 85 |
| A. | Pengertian Gerak Pada Tumbuhan..... | 85 |
| B. | Jenis-jenis Gerak pada Tumbuhan | 85 |
| C. | Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan dengan Gerak Tumbuhan..... | 90 |
| D. | Rangkuman..... | 90 |
| BAB VIII | PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN..... | 93 |
| A. | Pengertian Pertumbuhan dan Perkembangan..... | 93 |
| B. | Pola Pertumbuhan dan Perkembangan..... | 94 |
| C. | Perkecambahan..... | 95 |
| D. | Pengaturan Pertumbuhan dan Perkembangan | 97 |
| E. | Pengaturan Lingkungan..... | 101 |
| F. | Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan dengan Pertumbuhan dan Perkembangan | 101 |
| G. | Rangkuman..... | 102 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 105 |
| PROFIL PENULIS..... | | 107 |

BAB I

PENDAHULUAN

Kata fisiologi tumbuhan dari bahasa latin yaitu *physis* berarti alam (*nature*) dan *logos* berarti ilmu. Fisiologi digunakan untuk berbagai bidang kajian seperti biomolekul, sel, jaringan, organ, sistem organ, serta organisme secara keseluruhan yang menjalankan fungsi fisik dan kimianya. Berdasarkan objek kajiannya dikenal fisiologi tumbuhan, fisiologi manusia, dan fisiologi hewan, meskipun prinsip fisiologi bersifat universal, tidak bergantung pada jenis organisme yang dipelajari. Fisiologi tumbuhan mencari keterangan-keterangan tentang kehidupan tumbuhan. Mempelajari fisiologi tumbuhan akan menambah kekaguman kita akan banyak hal yang terjadi di dalam kehidupannya. Kajian tentang fisiologi tumbuhan lebih ditujukan pada berbagai mekanisme atau proses biologis yang terjadi di dalam tumbuhan. Ruang gerak untuk mencari keterangan-keterangan yang berhubungan dengan kehidupan tumbuhan dibatasi oleh hukum-hukum alam.

A. Pengertian dan Ruang Lingkup Fisiologi Tumbuhan

Fisiologi tumbuhan merupakan salah satu cabang biologi yang mempelajari tentang proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuh tumbuhan yang menyebabkan tumbuhan tersebut dapat hidup. Laju proses-proses metabolisme ini dipengaruhi oleh (dapat pula tergantung pada) faktor-faktor lingkungan mikro disekitar tumbuhan tersebut. Fisiologi tumbuhan berkonsentrasi pada bagaimana proses metabolisme pada tumbuhan terjadi. Seiring waktu, perkembangan fisiologi tumbuhan sangat berkembang dengan pesat, yang ditopang oleh perkembangan ilmu kimia dan fisika, maka fisiologi tumbuhan sering dipilah-pilah menjadi beberapa cabang sesuai dengan ruang lingkup pokok bahasannya.

Dengan mempelajari fisiologi tumbuhan, kita dapat lebih memahami peran sinar matahari dalam menghasilkan karbohidrat dari bahan baku anorganik berupa air dan karbondioksida. Disamping itu juga kita dapat memahami

pentingnya air dalam kehidupan tumbuhan, layunya tumbuhan karena kekeringan, proses perkecambahan biji, dan berbagai macam gejala lainnya yang diekspresikan oleh tumbuhan jika kekurangan nutrisi.

Secara umum, fisiologi tumbuhan digolongkan menjadi beberapa ruang lingkup lainnya:

1. Fisiologi lepas panen, mempelajari tentang fisiologi bagian tumbuhan setelah bagian tersebut panen.
2. Fisiologi tanaman, mempelajari tentang metabolisme pada tanaman yang dibudidayakan, jadi tidak termasuk tumbuhan yang tergolong monera, protista, dan fungi, serta tumbuhan tingkat tinggi yang tidak dibudidayakan.
3. Fisiologi benih, mempelajari tentang benih yang mencakup tahapan pembenihan dan melibatkan beberapa proses yang mengikutinya.
4. Ekofisiologi, mempelajari tentang faktor-faktor lingkungan, unsur cuaca dan iklim yang mempengaruhi metabolisme tumbuhan, mencakup pengaruh positif dan negatif bagi kepentingan tumbuhan dan kepentingan manusia.

B. Bidang Ilmu Pendukung Fisiologi Tumbuhan

Tumbuh-tumbuhan merupakan bahan yang mutlak diperlukan oleh hampir semua makhluk hidup, termasuk manusia karena tumbuh-tumbuhan merupakan penghasil makanan nabati yang universal. Di samping sebagai penghasil makanan juga merupakan sarana untuk melengkapi keperluan hidup yang lain, yaitu sebagai obat, minuman, pelengkap pangan, bahan tekstil, alat-alat rumah tangga, produk industri dan sumber batu bara, serta minyak bumi.

Ilmu yang khusus mempelajari semua aspek tumbuh-tumbuhan disebut botani, yang mempunyai cabang berbagai bidang ilmu yang berkaitan satu sama lain, antara lain morfologi, anatomi, taksonomi, fisiologi, dan ekologi tumbuh-tumbuhan.

1. Morfologi merupakan cabang dari biologi tentang penampakan atau bentuk luar tubuh makhluk hidup.
2. Anatomi merupakan cabang biologi tentang struktur dalam tubuh makhluk hidup.
3. Taksonomi merupakan cabang biologi tentang struktur dalam tubuh makhluk hidup.
4. Fisiologi merupakan ilmu tentang fungsi alat tubuh makhluk hidup.
5. Ekologi merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang hubungan timbal balik antara organisme (makhluk hidup) dengan lingkungan, atau

mempelajari proses-proses fungsional yang terjadi di daratan, perairan lautan ataupun berbagai tipe ekosistem lainnya

Dengan berkembangnya ilmu ekologi manusia semakin memahami bahwa seluruh organisme yang ada di permukaan bumi ini mempunyai ketergantungan antara satu dengan lainnya serta faktor faktor lingkungan. Ilmu Ekologi adalah yang dapat menjelaskan bahwa terjadinya berbagai persoalan lingkungan hidup yang terjadi di muka bumi ini seperti banjir, kekeringan, longsor, terjadinya "Blooming" di perairan yang menyebabkan ikan-ikan mati, kasus "silent spring", berkurangnya populasi burung "penguin" di kutub, berkembangnya berbagai penyakit menular, timbulnya penyakit-penyakit aneh seperti kanker yang disebabkan oleh senyawa Xenobiotik, pemanasan global, hujan asam, musnahnya keanekaragaman hayati dan lain-lain sebagainya.

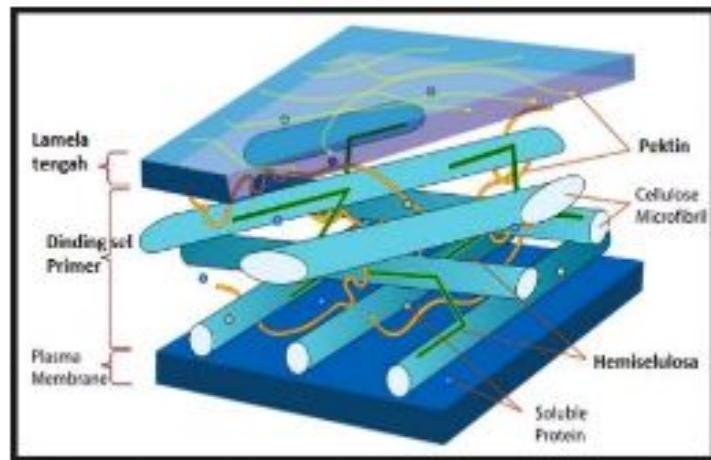
C. Sel Pada Tumbuhan

Sel merupakan unit dasar dari suatu kehidupan, dan tidak dijumpai dalam kehidupan unit-unit yang lebih kecil dari sel. Tumbuhan tingkat tinggi tubuhnya tersusun oleh sejumlah sel, baik sel hidup maupun sel mati.

1. Dinding Sel

Sel-sel tumbuhan mempunyai dua tipe dinding sel, yaitu dinding sel primer dan sekunder. Dinding sel hanya terdapat pada sel tumbuhan, sehingga menjadi salah satu pembedanya dengan sel hewan. Dinding sel berperan untuk melindungi sel tumbuhan, mempertahankan bentuk sel dan mencegah absorpsi air secara berlebihan. Dinding sel primer tipis dengan ketebalan sekitar 1-3 μm , terdiri dari 9,25 % selulosa, 25-50% hemiselulosa, dan juga mengandung 10% protein. Di antara sel-sel yang berdekatan terdapat lamella tengah yang merekatkan antara dua dinding sel menjadi satu. Lamella tengah merupakan lapisan tipis yang banyak mengandung polisakarida yang disebut pectin. Dinding sekunder biasanya lebih tebal dari dinding primer. Dinding sekunder terdiri dari 41-45% selulosa, 30% hemiselulosa, dan 22,28% lignin. Dinding sekunder tidak mudah di tekan, dan bentuknya tidak mudah berubah karena adanya lignin yang bersifat lebih kaku dari selulosa. Lignin dikenal karena kekuatannya, sehingga memberikan sifat jaringan yang berkayu dengan kekuatan khas. Disamping itu lignin juga dapat memberikan perlindungan tumbuhan

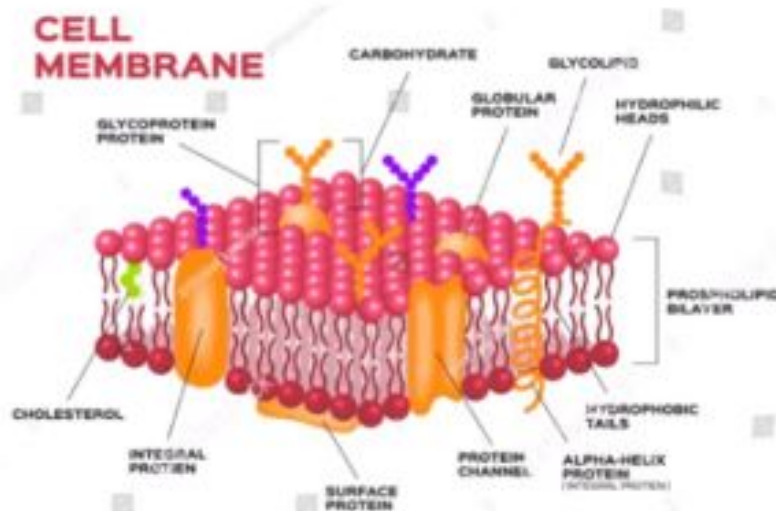
terhadap serangan patogen (meskipun jamur mampu merombak lignin, sehingga kayu dapat membusuk).



Gambar 1.1 (Dinding sel tumbuhan)

2. Membran Plasma

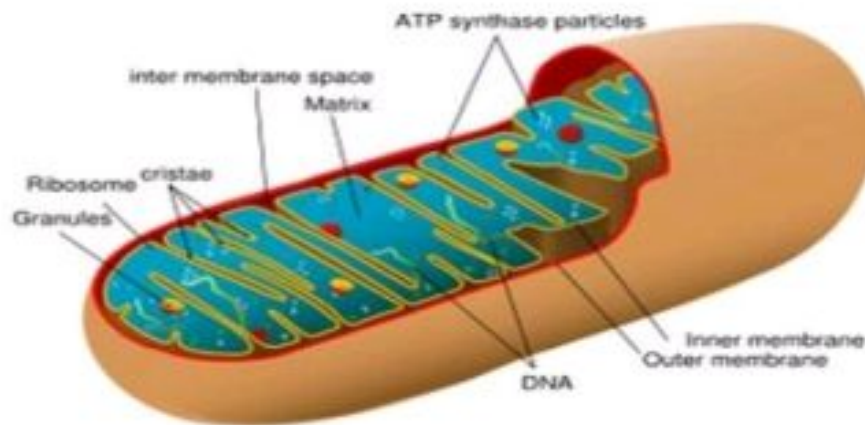
Membran plasma merupakan membrane yang melindungi sitoplasma dan inti sel. Membrane sel membungkus organel-organel dalam sel. Membrane plasma berfungsi mengatur aliran zat-zat terlarut masuk dan keluar sel, dan mengatur osmosis. Membrane plasma bersifat diferensial permeabel, sehingga dapat melalukan senyawa kimia tertentu dan tidak melalukan senyawa lainnya. Struktur membrane plasma merupakan lapisan rangkap lipid (*lipid bilayer*); hidrofilik (suka air) molekul lipidnya berada di permukaan. Sedangkan bagian lipofilik (suka lemak), molekul lipidnya menghadap ke dalam lapisan rangkap sehingga menyebabkan adanya ruang yang terang. Molekul yang dapat melewati membrane sel antara lain ialah molekul hidrofobik (CO_2 , O_2), dan molekul polar yang sangat kecil (air, etanol). Sedangkan molekul polar dengan ukuran besar (glukosa), ion dan substansi hidrofilik membutuhkan mekanisme khusus agar dapat masuk ke dalam sel.



Gambar 1.2 (Membran plasma)

3. Mitokondria

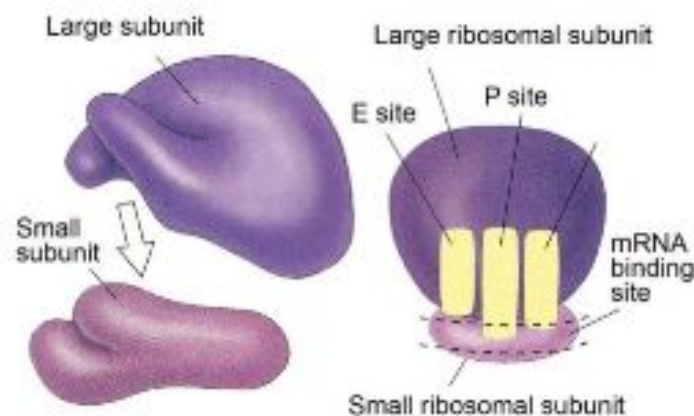
Mitokondria adalah organel sel sebagai tempat fungsi respirasi pada makhluk hidup berlangsung. Respirasi merupakan proses pembakaran atau katabolisme untuk menghasilkan energi atau tenaga bagi berlangsungnya proses hidup. Mitokondria banyak terdapat pada sel yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi dan memerlukan ATP dalam jumlah banyak. Struktur mitokondria dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Mitokondria dikelilingi oleh dua lapis membran. Membran sebelah dalam bentuknya sangat rumit, dengan banyak lipatan yang semuanya memberikan permukaan bagian dalam yang luas, sehingga menjadi tempat aktivitas metabolisme. Struktur mitokondria terdiri dari empat bagian utama yaitu membran luar, membran dalam, ruang antar membran, dan matriks yang terletak di bagian dalam membran. Matriks mengandung enzim yang digunakan pada respirasi seluler. Membran dalam merupakan tempat utama pembentukan ATP. Luas permukaan ini meningkat sangat luas karena banyaknya lipatan yang menonjol ke dalam matriks yang disebut Krista. Struktur Krista yang demikian mengakibatkan meningkatnya luas permukaan membran dalam sehingga meningkatkan kemampuannya dalam memproduksi ATP.



Gambar 1.3 (Mitokondria)

4. Ribosom

Ribosom dijumpai terbesar dalam sitoplasma atau menempel pada bagian luar RE, dan tersusun sangat teratur. Reticulum endoplasma dengan ribosom yang melekat padanya disebut RE kasar, sedangkan yang tidak mengandung ribosom di sebut RE halus. Ribosom juga terlihat menempel pada bagian luar membran inti dalam sitosol. Ribosom tersusun dari RNA dan protein, dan yang tidak terikat pada membran merupakan situs sintesis protein. Dalam ribosom, informasi genetic dari mRNA diterjemahkan menjadi protein. Sebagian besar protein yang dibuat oleh ribosom bebas akan berfungsi didalam sitosol. Hal ini dapat diketahui dari enzim-enzim yang terdapat di dalam sitosol, dan berperan dalam metabolisme.



Gambar 1.4 (Ribosom)

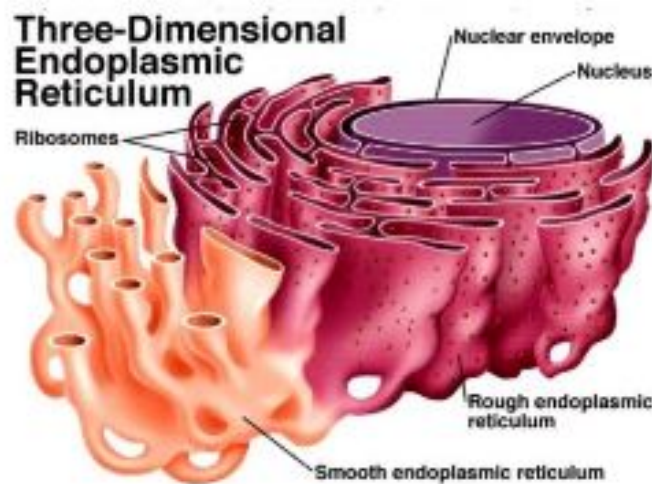
5. Retikulum Endoplasma

RE memiliki struktur yang menyerupai kantung berlapis-lapis yang disebut *cristernae*. Fungsi retikulum endoplasma bervariasi, tergantung pada jenisnya.

RE pada tumbuhan ada dua jenis yaitu :

- a. RE kasar. Pada permukaan RE kasar terdapat bintik-bintik yang merupakan ribosom. Ribosom ini berperan dalam sintesis protein. Sehingga, fungsi utama RE kasar adalah sebagai tempat sintesis protein.
- b. RE halus. RE halus tidak memiliki bintik-bintik ribosom dipermukaannya. RE halus berfungsi dalam proses metabolisme yaitu sintesis lipid, metabolisme karbohidrat dan konsentrasi kalsium, detoksifikasi obat-obatan, dan tempat meletaknya reseptor pada protein membran sel.

c.



Gambar 1.5 (Retikulum endoplasma)

6. Plastida

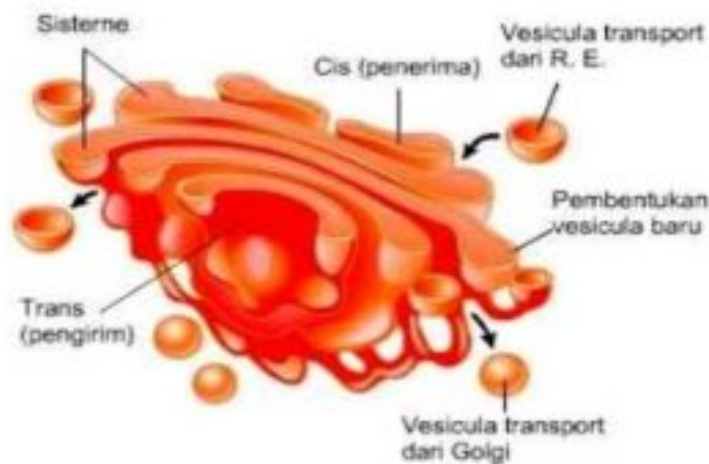
Plastid merupakan organel sel terbesar pada sel tumbuhan. Plastid berbentuk lensa bikonveks yang terdapat pada semua sel tumbuhan. Berdasarkan warnanya, plastid dapat diklasifikasikan sebagai plastid tak berwarna disebut leukoplas, contohnya: amiloplas yang terkandung pada butir-butir padi, kloroplas yang mengandung klorofil yang berperan dalam fotosintesis dan kromoplas yang berwarna merah, jingga tua, atau kuning.



Gambar 1.6 (Plastida)

7. Badan Golgi

Pada sel tumbuhan badan golgi disebut juga diktiosom. Struktur badan golgi terus berubah, karena beberapa cakram berongga (*cristernae*) tumbuh, sementara yang lainnya mengkerut dan menghilang.

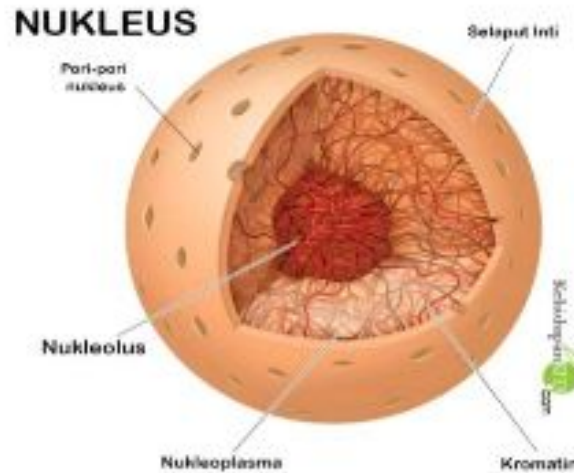


Gambar 1.7 (Badan golgi)

8. Nukleus

Nukleus atau inti sel adalah organel yang ditemukan pada sel eukariotik. Fungsi utama nukleus adalah menjaga integritas gen-gen dan mengontrol aktivitas sel dengan mengelola ekspresi gen. selain itu, nukleus juga berfungsi untuk mengorganisasikan gen saat terjadi pembelahan sel,

memproduksi mRNA untuk pengkodean protein, sebagai tempat sintesis ribosom, tempat terjadinya replikasi, dan transkripsi dari DNA serta mengatur kapan dan di mana ekspresi gen harus dimulai, dijalankan, dan diakhiri.



Gambar 1.8 (Nukleus)

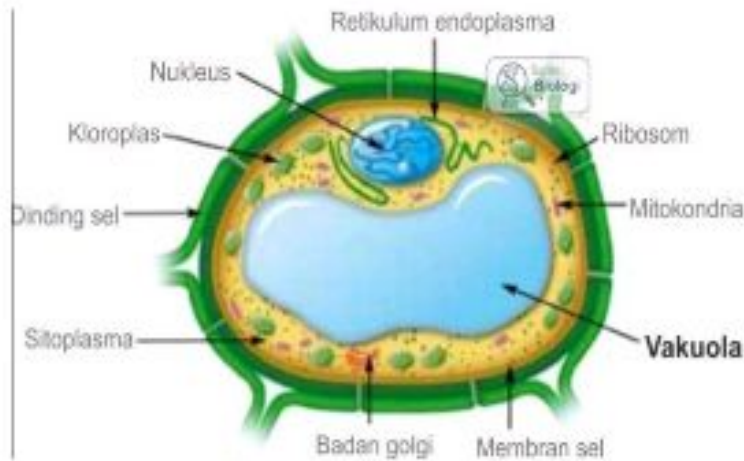
9. Vakuola

Vakuola merupakan ruang dalam sel yang berisi cairan (*cell sap* dalam bahasa Inggris) yang berupa rongga yang diselaputi membran (tonoplas). Cairan ini adalah air dan berbagai zat yang terlarut di dalamnya. Selain itu, Vakuola juga berisi asam organik, asam amino, glukosa, gas, garam-garam kristal, alkaloid. Vakuola terbagi menjadi 2 jenis, yaitu Vakuola Kontraktil dan Vakuola nonkontraktil (vakuola makanan). Vakuola kontraktil berfungsi sebagai osmoregulator yaitu pengatur nilai osmotik sel atau ekskresi. Vakuola nonkontraktil berfungsi untuk mencerna makanan dan mengedarkan hasil makanan.

Fungsi dari Vakuola ialah:

- Tempat penyimpanan zat cadangan makanan seperti amilum dan glukosa.
- Tempat menyimpan pigmen (daun, bunga dan buah).
- Tempat penyimpanan minyak atsirik (golongan minyak yang memberikan bau khas seperti minyak kayu putih).
- Mengatur turgiditas sel (tekanan osmotik sel).
- Tempat penimbunan sisa metabolisme dan metabolik sekunder seperti getah karet, alkaloid, tanin, dan kalsium oksabit.

Bagi tumbuhan, vakuola berperan sangat penting dalam kehidupan karena mekanisme pertahanan hidupnya bergantung pada kemampuan vakuola menjaga konsentrasi zat-zat terlarut di dalamnya. Tanpa vakuola, proses kehidupan pada sel akan berhenti karena terjadi kekacauan reaksi biokimia.



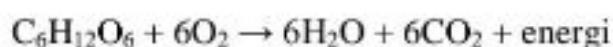
Gambar 1.9 (Vakuola)

D. Proses yang Terjadi Pada Tumbuhan

Proses yang terjadi pada tumbuhan melalui beberapa proses, seperti:

1. Respirasi

Respirasi menghasilkan banyak senyawa karbon yang dibutuhkan sebagai prekursor untuk biosintesis senyawa organik lainnya. Proses respirasi dapat dimulai dengan berbagai senyawa kimia. Glukosa merupakan substrat respirasi yang umum dikenal, tetapi dalam sel tumbuhan substrat respirasi juga dapat berasal dari sukrosa, heksosa fosfat dan triosa fosfat yang berasal dari fotosintesis dan perombakan pati, fruktosa, gula-gula lainnya, lemak terutama triasilgliserol, asam-asam organik, dan kadang-kadang protein. Respirasi sel tumbuhan merupakan oksidasi molekul organik oleh oksigen dari udara membentuk karbondioksida dan air. Oleh karena itu metode respirasi umum kadang-kadang diberi tambahan kata *aerob*. Dari segi reaksi kimia, respirasi adalah oksidasi karbon dari molekul glukosa dan reduksi oksigen yang reaksinya digambarkan secara sederhana sebagai berikut:

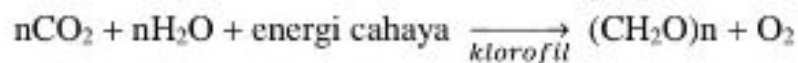


Reaksi diatas adalah kebalikan dari reaksi fotosintesis yang merupakan reaksi redoks dimana glukosa di oksidasi secara sempurna menjadi CO_2 , sementara oksigen yang berperan sebagai penerima (akseptor) direduksi menjadi H_2O . Fungsi utama dari respirasi adalah melepaskan energi bebas yang terkontrol bersama-sama dengan terbentuknya ATP. Untuk mencegah kerusakan struktur sel, pelepasan energi bebas dari molekul glukosa dilakukan oleh sel secara bertahap. Reaksi-reaksi bertahap dari respirasi dikelompokkan ke dalam empat proses utama yaitu: glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus atau daur krebs, dan transpor elektron.

2. Fotosintesis

Fotosintesis adalah suatu proses yang berlangsung pada tumbuhan hijau untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia dalam bentuk senyawa karbon organik yang berasal dari molekul karbon dioksida dan air. Pada hakikatnya, semua kehidupan di atas bumi ini tergantung langsung dari adanya proses asimilasi karbon dioksida menjadi senyawa organik dengan adanya energi sinar matahari (energi foton) melalui perantara pigmen hijau klorofil.

Fotosintesis menyediakan baik karbon maupun energi bagi organisme hidup dan menghasilkan oksigen hidup dan menghasilkan oksigen dalam atmosfer. Reaksi keseluruhan dari fotosintesis dapat ditulis sebagai berikut:



a. Pigmen Fotosintesis

Pigmen itu sendiri ialah zat yang menyerap cahaya yang tampak. Pigmen-pigmen yang berbeda menyerap cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda pula, dan panjang gelombang yang diserap pun menghilang. Jika pigmen disoroti dengan cahaya putih, warna yang kita lihat adalah warna yang paling banyak dipantulkan atau diteruskan oleh pigmen tersebut. Daun yang berwarna hijau itu karena klorofil menyerap cahaya ungu, biru, dan merah sambil memantulkan atau meneruskan cahaya hijau.

Klorofil ada dua macam yaitu klorofil a dan klorofil b. Kedua klorofil ini mempunyai struktur yang sama, akan tetapi berbeda dalam spektrum penyerapan cahayanya. Disamping kedua pigmen tersebut, dalam

tumbuhan masih ada satu pigmen lain yaitu pigmen karotenoid yang mempunyai kisaran warna merah sampai kuning. Pigmen ini merupakan pigmen dominan pada buah dan bunga. Pada daun juga terdapat pigmen ini, hanya karena tertutup oleh klorofil, maka daun tampak hijau. Pigmen ini akan tampak pada daun bila musim gugur tiba, maka jumlah klorofil berkurang dan daun tampak berwarna kuning dan merah.

Apabila pigmen-pigmen tersebut mengabsorpsi sinar, maka tingkat energi elektron akan lebih tinggi, hal ini memberikan tiga konsekuensi yaitu:

- 1) Energi akan diubah menjadi panas.
- 2) Akan dipancarkan sebagai energi sinar, disebut dengan fluoresen.
- 3) Akan digunakan untuk reaksi kimia, seperti yang terjadi pada fotosintesis.

b. Fotosistem

Fotosistem tersusun atas suatu kompleks protein yang disebut kompleks pusat reaksi yang dikelilingi oleh beberapa kompleks permanen cahaya. Kompleks pusat reaksi mencakup pasangan khusus molekul klorofil yang setiap kompleks permanen cahaya terdiri dari berbagai molekul pigmen yang terikat ke protein. Jumlah dan variasi molekul pigmen memungkinkan fotosistem memanen cahaya pada permukaan yang lebih luas dan bagian spektrum yang lebih besar daripada yang bisa dilakukan oleh satu molekul pigmen tunggal. Kompleks pemanen cahaya ini bertindak sebagai antena bagi kompleks pusat reaksi. Kompleks pusat reaksi mengandung suatu molekul yang mampu menerima elektron dan menjadi tereduksi. Fotosistem mengubah energi cahaya menjadi energi kimia, yang pada akhirnya akan digunakan untuk sintesis gula.

Fotosistem adalah susunan klorofil dan beberapa pigmen lainnya yang dikemas dalam tilakoid. Fotosistem I menggunakan klorofil a dalam bentuk yang dikenal sebagai P700, karena paling efektif menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang 700 nm. Sedangkan fotosistem II menggunakan klorofil a dalam bentuk P680, karena pigmen ini paling bagus menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang 680 nm. Fungsi kedua bentuk aktif klorofil a

tersebut dalam fotosintesis disebabkan oleh ikatannya dengan protein dalam membran tilakoid.

c. Aliran Energi dalam Fotosintesis

Reaksi yang digerakkan oleh cahaya yang mengikat ke molekul fosfat disebut fotofosforilasi. Dua jalur yang bergantung pada cahaya disebut juga dengan fotofosforilasi siklik dan non siklik. Jalur siklik yang lebih sederhana terlibat lebih dulu dan masih berjalan pada sebagian besar organisme fotosintetik. Fotofosforilasi siklik menghasilkan ATP, siklus tersebut membentuk NADPH dan tidak melepas O_2 . Elektron yang hilang dari fotosistem I di daur ulang kembali ke dalamnya. Fotofosforilasi adalah proses terjadinya konversi energi yang berasal dari energi yang berbentuk lompatan elektron cahaya (*light-excited electron*) ke dalam bentuk ikatan pyrophosphate (ikatan molekul ADP). Hal ini terjadi pada P680 yaitu tempat dimana terjadi lemparan elektron-elektron dari molekul-molekul air yang dipecah oleh energi cahaya. Air dipecahkan ke dalam bentuk ion H^+ dan O^{2-} . Ion-ion O_2 ini yang bergabung untuk membentuk O_2 diatomik yang kemudian dilepaskan dan dibawa oleh P680. Transfer energi tersebut sama dengan transport elektron *chemiosmotic* yang terjadi di mitokondria.

E. Peranan Fisiologi Tumbuhan

Fisiologi tumbuhan memiliki beberapa peran penting dalam kehidupan yaitu :

1. Sumber daya alam nabati.
 - a. Sebagian besar sumber daya pangan, berasal dari tanaman budi daya. Tanaman yang kita manfaatkan sebagai sumber karbohidrat ialah padi, jagung, ubi, ubi kayu dan ubi-ubi lain. Yang kita manfaatkan sebagai sumber lemak ialah kelapa, kelapa sawit, dan kacang tanah. Sedangkan yang kita manfaatkan sebagai sumber protein adalah kedelai, kacang hijau, serta jenis kacang-kacangan lainnya. Sayur dan buah-buahan kita manfaatkan sebagai sumber vitamin dan mineral.
 - b. Beberapa jenis tanaman, dimanfaatkan manusia sebagai sumber minyak, antara lain cengkeh, serih, tengkawang, kayu putih, dan kananga. Tanaman ini sebagian sudah dibudidayakan, tetapi sebagian lain masih

tumbuh liar dalam hutan. Ekonomi hasil hutan sangat menarik, sehingga hutan dijadikan sumber daya alam yang sangat penting.

- c. Berbagai jenis kayu, telah dimanfaatkan sebagai bahan baku mebel, seperti kayu jati yang telah banyak dibudidayakan, serta kayu dari hutan, seperti meranti, rasamala, rotan, bambu, dan kayu jenis lainnya. Kayu hutan ini sebagian diekspor ke luar negara
- d. Berbagai jenis tumbuhan sebagai sumber obat-obatan, yang lebih dikenal dengan apotik hidup. Kumis kucing, jahe, kencur, kunyit, temu lawak, dan beberapa jenis tanaman lainnya merupakan bahan dasar untuk membuat obat tradisional.

2. Sebagai paru-paru dunia

Tumbuhan menyediakan oksigen yang sangat besar terhadap manusia karena hanya tumbuhan lah yang mampu menghasilkan oksigen untuk pernafasan manusia.

3. Pemanfaatan sumber daya alam barang tambang

Undang-Undang Dasar 1945 Pasal 33, Ayat 3 menyatakan, "Bumi, air, dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat". Berdasarkan ayat di atas, segala sesuatu yang terkandung di dalam bumi Indonesia, termasuk barang tambang, dikuasai oleh negara. Barang tambang di Indonesia terdapat di darat dan di laut. Untuk mengolah barang tambang tersebut diperlukan banyak modal, tenaga ahli, dan teknologi tinggi. Kekayaan alam yang terkandung di bumi Indonesia dapat dikelola oleh pihak swasta maupun asing asalkan telah mendapat izin dari pemerintah (konsesi). Biasanya, pengaturan dibagikan dengan sistem bagi hasil. Usaha pertambangan didahului dengan penyelidikan (eksplorasi) untuk mengetahui jumlah cadangan barang tambang yang tersedia.

Usaha pertambangan dan bahan galian dalam pembangunan Indonesia mempunyai peranan sebagai berikut:

- a. Menambah pendapatan negara karena bahan tambang dapat diekspor keluar negeri.
- b. Memperluas lapangan kerja. Memajukan bidang transportasi dan komunikasi.
- c. Memajukan industri dalam negeri.

F. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan Fisiologi Tumbuhan

Q.S. Ar-Ra'd ayat 4 menjelaskan mengenai fisiologi tumbuhan.

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَاوِرَاتٌ وَجَنَّاتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزُرُوعٌ وَنَخِيلٌ
صِّنَاوَانٌ وَغَيْرُ صِّنَاوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفْضِلُ بَعْضَهَا عَلَى بَعْضٍ فِي
الْأَكْلِ إِن فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿٤﴾

Artinya:

"Dan di bumi ini terdapat bagian-bagian yang berdampingan dan kebun-kebun anggur, tanam-tanaman dan pohon kurma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama. Kami melebihkan sebagian tanaman-tanaman itu atas sebagian yang lain tentang rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir."

G. Rangkuman

Fisiologi tumbuhan merupakan salah satu cabang biologi yang mempelajari tentang proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuh tumbuhan yang menyebabkan tumbuhan tersebut dapat hidup. Secara umum, fisiologi tumbuhan digolongkan menjadi beberapa ruang lingkup lainnya: Fisiologi lepas panen, fisiologi tanaman, fisiologi benih, ekofisiologi.

Fisiologi tumbuhan memiliki beberapa peran penting dalam kehidupan, yaitu sebagai sumber daya alam hewani (sumber daya alam hewani dimanfaatkan sebagai sumber pangan dan juga sumber sandang, dalam kaitannya dengan benda-benda budaya, hewan dimanfaatkan sebagai benda-benda hasil seni dan nilai budaya manusia. Sumber daya alam hayati juga dimanfaatkan dalam meningkatkan nilai kehidupan dan nilai budaya manusia), sumber daya alam nabati (sebagian besar sumber daya pangan, berasal dari tanaman budi daya), sebagai paru-paru dunia, pemanfaatan sumber daya alam barang tambang

Ilmu yang khusus mempelajari semua aspek tumbuh-tumbuhan disebut botani, yang mempunyai cabang berbagai bidang ilmu yang berkaitan satu sama lain, antara lain morfologi, anatomi, taksonomi, fisiologi, dan ekologi tumbuh-tumbuhan.

Sel pada tumbuhan terdiri atas Dinding Sel, Membrane Plasma, Mitokondria, Ribosom, Retikulum Endoplasma (RE), Plastida, Badan golgi, Nukleus, Vakuola. Proses pada tumbuhan melalui respirasi, fotosintesis (Pigmen Fotosintesis, fotosistem, dan Aliran Energi dalam Fotosintesis). Integrasi ayat Al-Qur'an berkaitan fisiologi tumbuhan terdapat dalam Q.S. Ar-Ra'd ayat 4.

BAB II

TUMBUHAN DAN SIFAT AIR

A. Air dalam Kehidupan Tumbuhan

Air merupakan molekul terbesar dalam kehidupan dan memiliki sifat fisik dan kimia yang unik.

Fungsi air dalam kehidupan (Tumbuhan) :

1. Berperan dalam reaksi biokimia di dalam protoplasma, yang kerjanya dikontrol oleh enzim. Komponen-komponen reaktif dalam rangkaian reaksi metabolisme terlarut dalam air, sehingga memberi fasilitas bagi reaksi-reaksi biokimia. Air bereaksi secara langsung dalam komponen reaktif dalam metabolisme, contohnya yaitu dalam proses sintesa dan perombakan asam lemak.
2. Untuk pembentukan koloid protoplasma. Protoplasma yang terdiri dari antara lain protein, asam nukleat. Enzim mengkatalisis proses pembentukan protein ini dan dibantu dengan keberadaan air. Dalam pembentukan koloid pati dan pektin juga demikian, pati dan pektin berasosiasi dengan air membentuk koloid.
3. Untuk sistem hidrolik. Air memberikan tekanan hidrolik pada sel dan menimbulkan turgor pada sel-sel tumbuhan sehingga dapat memberi sokongan/tumpangan pada jaringan struktural yang tidak mempunyai sokongan. Contoh: Tumbuhan yang hidup di daerah basah (teratai, genjer), jika sel-selnya kekurangan air maka akan kelihatan layu terutama daun akan layu jika kekurangan air. Selain itu, tekanan hidrolik juga sangat berperan pada proses membuka dan menutupnya stomata.
4. Sebagai sistem transport. Air sebagai alat transport untuk mengangkut bahan-bahan dari satu sel ke sel lain, dari jaringan ke jaringan lain, dari tanah hingga ke daun dan seluruh tubuh tumbuhan.
5. Sebagai stabilisator dan pemindah panas. Sebagai pengatur suhu tubuh tumbuhan, air mempunyai panas jenis yang tinggi. Pada proses ini, air

berfungsi sebagai dapur (buffer), sebagai penyerap sejumlah panas sehingga kenaikan dan penurunan suhu tidak terlalu besar.

6. Merupakan 90- 95% penyusun tubuh tanaman.
7. Aktivator enzim.
8. Sumber H dalam fotosintesis.
9. Penghasil O₂ dalam fotosintesis.
10. Pengatur pemanjangan sel dan pertumbuhan, dll.

B. Sifat-Sifat Air

Beberapa sifat air terkait dengan kepentingan tumbuhan, yaitu:

1. Berbentuk cair pada suhu kamar.
2. Panas jenis air tinggi/besar. Air dapat menyerap banyak panas tanpa menyebabkan suhu tubuh tumbuhan menjadi naik dan relatif stabil sehingga metabolisme berjalan stabil. Penelitian menemukan: menaikkan suhu 1 gr air menjadi 1°C diperlukan 1,515 jkalori.
3. Mengembang pada waktu membeku. Volume air menjadi bertambah dalam keadaan beku, berat jenis air beku adalah lebih kecil dari air biasa.
4. Viskositas/ kekentalan/ daya alir. Viskositas air sangat rendah, sehingga mudah mengalir dan mudah dipindah-pindahkan di dalam tubuh, hal ini memudahkan proses transportasi.
5. Adhesi dan kohesi. Adhesi adalah kemampuan suatu molekul untuk berikatan dengan molekul lain yang berlainan jenis. Kohesi adalah kemampuan suatu molekul untuk berikatan dengan molekul lain yang sejenis. Molekul air mempunyai kemampuan kuat mengikat molekul lain, contoh : pada kemampuan air dalam mengikat molekul pati dan selulosa, sifat ini sangat membantu dalam proses pengangkutan air di dalam Xylem.
6. Panas latent, penguapan, pencairan. Contoh: 1 gram air untuk menjadi uap pada temperatur 10°C, maka dibutuhkan E sebesar 586 kalori (E= panas latent penguapan), Untuk mengubah 1 gram es 0 °C menjadi cair dibutuhkan E = 80 kalori (E = panas latent pencairan).

C. Difusi Dan Osmosis

1. Difusi

Difusi adalah proses perembesan senyawa kimia tertentu secara spontan dari daerah yang memiliki konsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah. Proses ini terjadi akibat mobilitas dan energi kinetik dari molekul

atau ion yang berdifusi tersebut. Arah gerakan tidak tentu, ini dikarenakan adanya hambatan molekul-molekul tersebut. Mekanisme ini menjadi penting dalam menghubungkan sel dengan lingkungannya.

Proses difusi digerakkan oleh gaya dorong yang terjadi karena adanya beda potensial dari tinggi ke rendah baik dalam hal temperatur, listrik, tekanan hidrostatik, konsentrasi dan lain-lain. Kecepatan transportnya dihitung dalam Flux (besarnya massa yang melewati satu luas permukaan tertentu pada satuan waktu tertentu). Contoh:

- a. Pada proses perembesan yang terjadi tanpa melewati sekat/ membran di dalam protoplasma, seperti dari ujung retikulum endoplasma ke bagian lain.
- b. Pada proses perembesan yang terjadi dengan melewati sekat seperti dari intra ke ekstra sel, dari sitoplasma ke nukleoplasma, dari sitoplasma ke organel-organel sel.

Difusi Gas di alam: minyak wangi, gas amoniak, H_2S , proses difusi berjalan tanpa sekat/membran, dengan tujuan untuk menyamakan konsentrasi. Proses difusi gas ini di dalam tubuh tumbuhan juga berlangsung, misalnya pada proses pertukaran gas di dalam daun pada gas CO_2 , O_2 , etilen, minyak atsiri. Pada proses fotosintesis terjadi pemindahan O_2 dari daun ke udara bebas dan pemindahan CO_2 dari udara ke daun. Pada peristiwa ini, O_2 dapat di bebaskan dan CO_2 dapat digunakan jika kandungan O_2 daun lebih tinggi dari lingkungan sekitar dan kandungan CO_2 udara bebas lebih besar dari di daun.

Difusi Kristal Zat Warna

Contoh : $KMnO_4 \rightarrow \text{air} \rightarrow \text{merah}$

$CuSO_4 \rightarrow \text{air} \rightarrow \text{biru}$

Keduanya dapat berdifusi ke segala arah.

Difusi melalui membran, terjadi karena 2 hal yaitu gradien konsentrasi dan gradien listrik. Berdasarkan ada tidaknya pembawa (*carier*) pada membran, difusi dibedakan atas: Difusi bebas yaitu difusi zat tanpa pembawa (*carier*) yang terjadi pada membran (zat-zat dapat secara bebas berdifusi sendiri).

Contoh: ion dan gula, mengalami transport secara difusi terikat dan juga difusi bebas. Sedangkan difusi terikat adalah difusi pada zat dengan bantuan carrier.

Faktor yg mempengaruhi difusi :

- a. Suhu, makin tinggi difusi makin cepat.
- b. BM makin besar difusi makin lambat.
- c. Kelarutan dalam medium, makin besar difusi makin cepat.
- d. Beda potensial kimia, makin besar beda difusi makin cepat.

Transpor pasif merupakan difusi melintasi suatu membran. Molekul memiliki energi kinetik intrinsik yang disebut gerak termal (kalor). Suatu akibat gerak yang ada setiap molekul bergerak secara acak, namun difusi populasi molekul mungkin mempunyai arah. Misalnya, suatu membran yang memisahkan air murni dari larutan zat pewarna dalam air. Anggaplah bahwa membran ini permeable. Setiap pewarna akan mengembara secara acak tetapi akan terdapat gerak netto (selisih) molekul pewarna melintasi membran kesisi semula yaitu air murni. Penyebaran zat pewarna melintasi membran akan berlanjut hingga ke dua larutan memiliki konsentrasi pewarna yang sama.

Begitu titik itu tercapai, akan terdapat kesetimbangan dinamik yaitu molekul pewarna yang melintasi membran dalam satu arah "jumlahnya sebanyak molekul pewarna yang melintasi membran dalam arah sebaliknya setiap detik. Dengan kata lain setiap substansi akan berdifusi menuruni gradien konsentrasinya.

2. Osmosis

Osmosis adalah pergerakan air dari suatu larutan yang potensial airnya tinggi ke larutan yang potensial airnya rendah yang terjadi melalui membran.

Peranan Osmosis :

- a. Penting dalam pengabsorbsian air yang dilakukan oleh sel-sel tumbuhan. Tumbuhan tingkat tinggi mengandung 70% air yang terdapat di dalam sel tumbuhan dewasa (air vakuola) yang masuk dengan cara osmosis.

- b. Peristiwa plasmolisis (protoplas yang kehilangan air, sehingga volume sel menyusut dan akhirnya dapat terlepas dari dinding sel) sangat tergantung pada peristiwa osmosis.
- c. Proses Osmosis akan berhenti jika konsentrasi zat di kedua sisi membran tersebut telah mencapai keseimbangan (Anonim, 2009).

Membran semipermeabel adalah selaput pemisah yang hanya bisa ditembus oleh air dan zat tertentu yang larut di dalamnya. Setiap sel hid up merupakan sistem osmotik. Jika sel ditempatkan dalam larutan yang lebih pekat (hipertonik) terhadap cairan sel, air dalam sel akan terhisap keluar sehingga menyebabkan sel mengkerut. Peristiwa ini disebut plasmolisis.

Osmosis adalah difusi melalui membran semipermeabel. Masuknya larutan ke dalam sel-sel endodermis merupakan contoh proses osmosis. Keadaan tegang yang timbul antara dinding sel dengan dinding isi sel karena menyerap air disebut turgor, sedang tekanan yang ditimbulkan disebut tekanan turgor. Sel yang turgid banyak berperan dalam menegakkan tumbuhan yang tidak berkayu (Salisbury, 1995). Prinsip osmosis: transfer molekul solvent dari lokasi hypotonik (potensi rendah) solution menuju hypertonik solution, melewati membran. Jika lokasi hypertonik solution kita beri tekanan tertentu, osmosis dapat berhenti, atau malah berbalik arah (reversed osmosis), besarnya tekanan yang dibutuhkan untuk menghentikan osmosis disebut sebagai osmotik press.

Air yang ada di tanah masuk karena adanya perbedaan konsentrasi air dan akan masuk melalui akar dan akan melewati Epidermis - korteks endodermis perisikel-xylem. Xylem yang merupakan pengangkut air akan membawa air keseluruh bagian tumbuhan hingga ke dalam sel - sel tumbuhan itu sendiri dan akan dipakai untuk fotosintesis dan lain-lain.

D. Proses Transport Air

Dalam membandingkan dua larutan, jika konsentrasi zat terlarut lebih tinggi disebut hipertonic. Larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang lebih rendah disebut hipotonik. Ini merupakan istilah relatif yang hanya bermakna jika terdapat suatu perbandingan. Misalnya air PAM bersifat hipertonic terhadap air destilasi tetapi hipotonik terhadap air laut. Larutan dengan konsentrasi zat yang sama disebut isotonic. Dalam gambar bejana bentuk U dengan membran permeabel selektif memisahkan dua larutan gula yang

berbeda konsentrasinya. Pori membran terlalu kecil untuk dilewati oleh molekul gula tetapi cukup besar untuk dilewati molekul air. Akibatnya larutan dengan konsentrasi hipertonik memiliki konsentrasi air yang lebih rendah sehingga air berdifusi melintasi membran dari larutan hipotonik ke larutan hipertonik. Difusi air melintasi membran permeabel selektif merupakan suatu kasus khusus transport pasif yang disebut osmosis. Arah osmosis ditentukan hanya oleh perbedaan konsentrasi zat terlarut total. Air berpindah dari larutan hipotonik ke hipertonik sekalipun larutan hipotoniknya lebih banyak jenis zat terlarut.

E. Gradien Potensial Air

Reaksi biokimia, transpor jarak jauh, dan berbagai proses lainnya di dalam tumbuhan berlangsung karena adanya masukan energi bebas ke dalam tumbuhan tersebut. Energi bebas berpotensi untuk melakukan kerja. Tekanan yang diberikan pada air atau suatu larutan, akan meningkatkan energi bebasnya, yang mengakibatkan meningkatnya potensial air tersebut. Potensial kimia air merupakan besaran secara kuantitatif dari energi bebas pada air. Nilai potensial air di dalam sel tumbuhan dan nilainya di sekitar sel akan mempengaruhi difusi air dari dan ke dalam sel tumbuhan.

Komponen potensial air pada tumbuhan terdiri atas potensial osmosis (solut) dan potensial turgor (tekanan). Dengan adanya potensial osmosis cairan sel, air murni cenderung memasuki sel, sedangkan potensial turgor yang berada di dalam sel mengakibatkan air untuk cenderung meninggalkan sel. Gradien (perbedaan) potensial, secara langsung dapat menggerakkan air antara sel dan lingkungan, dan antara sel dan sel. Kecepatan pergerakan air ke dalam ataupun keluar sel hidup dikontrol oleh permeabilitas membran. Dalam sel tumbuhan, ada dua membran yang diperhitungkan, yaitu membran plasma yang mengelilingi sel, dan tonoplast, yaitu membran yang mengelilingi vakuola.

Jika potensial larutan pada lingkungan sel lebih tinggi, air akan bergerak dari luar ke dalam sel, namun jika potensial larutan lebih rendah maka airpun bergerak dari dalam sel ke lingkungannya, artinya sel akan kehilangan air. Apabila kehilangan air cukup besar, maka volume sel menurun demikian besarnya sehingga tidak dapat mengisi seluruh ruangan yang dibentuk oleh dinding sel. Hal ini menyebabkan membran dan sitoplasma terlepas dari dinding sel, keadaan ini dinamakan plasmolisis.

Membran sel tumbuhan bersifat permeabel diferensial, artinya membran ini dapat melewatkan air dan bahan-bahan kecil terlarut yang tak bermuatan lebih

mudah daripada bahan yang lebih besar dan bermuatan. Membran sel dan sifat permeabel deferensiasinya dapat diketahui dari proses plasmolisis.

Potensial air bukan saja menjadi penentu akhir dari proses pergerakan air secara difusi, tapi juga menjadi penentu tak langsung perpindahan massa air yang terjadi karena adanya gradien tekanan, sedangkan gradien tekanan timbul akibat pergerakan secara difusi. Pada metode volume-jaringan sampel jaringan yang diinginkan dimasukkan ke dalam seri larutan dengan ragam konsentrasi yang diketahui. Linarut terbaik untuk pengukuran semacam ini adalah yang tidak mudah melintasi membran atau yang tidak merusak jaringan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan larutan yang tidak mengubah volume jaringan, artinya tidak ada air yang masuk atau yang hilang. Ini menandakan bahwa jaringan dan larutan sudah sejak semula berada dalam kesetimbangan, potensial air jaringan sudah dan masih sama dengan potensial air larutan.

F. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan Tumbuhan dan Sifat Air

Integrasi ayat Al-qur'an berkaitan dengan tumbuhan dan sifat air terdapat dalam Q.S Al-An'am ayat 99.

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ
فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ
مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ
مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ أَنْظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي
ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

Artinya:

"Dan dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan, maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau, Kami keluarkan dari tanaman yang hijau itu butir yang banyak, dan dari mayang kurma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai dan kebun-kebun anggur, dan (kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan tidak serupa. Perhatikan buahnya diwaktu pohonnya berbuah dan(perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya yang demikian itu ada tanda-tanda kekuasaan Allah bagi orang-orang yang beriman" (QS. Al-An'am[6]:99).

Hubungan antara air dan tumbuhan sangat mutlak sebagaimana hubungan air dengan hewan dan manusia. Hal ini terlihat dari ketergantungan tumbuhan akan air. Tumbuhan tidak bisa hidup tanpa air. Berdasarkan hal-hal diatas maka dalam makalah ini membahas air dan hubungannya dengan tumbuhan serta korelasinya dengan Al-Qur'an.

G. Rangkuman

Air dalam kehidupan (Tumbuhan) sangat berperan dalam reaksi biokimia di dalam protoplasma, yang kerjanya dikontrol oleh enzim. Untuk pembentukan koloid protoplasma, untuk sistim hidrolik, sebagai sistem transport, sebagai stabilisator dan pemindah panas. Adapun beberapa sifat air terkait dengan kepentingan tumbuhan, yaitu berbentuk cair pada suhu kamar, panas jenis air tinggi/besar, mengembang pada waktu membeku, viskositas/ kekentalan/ daya alir, adhesi dan kohesi, panas latent, penguapan, pencairan.

Difusi adalah proses perembesan senyawa kimia tertentu secara spontan dari daerah yang memiliki konsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah. Faktor yg mempengaruhi difusi, yaitu suhu (makin tinggi difusi makin cepat), kelarutan dalam medium (makin besar difusi makin cepat), beda potensial kimia (makin besar beda difusi makin cepat). Sedangkan osmosis adalah pergerakan air dari suatu larutan yang potensial airnya tinggi ke larutan yang potensial airnya rendah yang terjadi melalui membran.

Komponen potensial air pada tumbuhan terdiri atas potensial osmosis (solut) dan potensial turgor (tekanan). Dengan adanya potensial osmosis cairan sel, air murni cenderung memasuki sel, sedangkan potensial turgor yang berada di dalam sel mengakibatkan air untuk cenderung meninggalkan sel. Gradien (perbedaan) potensial, secara langsung dapat menggerakkan air antara sel dan lingkungan, dan antara sel dan sel. Integrasi ayat Al-qur'an berkaitan dengan tumbuhan dan sifat air terdapat dalam Q.S Al-An'am ayat 99.

BAB III

PERTUKARAN GAS

A. Pengertian Pertukaran Gas Pada Tumbuhan

Pertukaran gas pada tumbuhan adalah suatu proses pemanfaatan gas yang ada di udara oleh tumbuhan untuk digunakan sebagai zat yang akan membantu metabolisme di dalam tumbuhan. Gas yang ada di udara, terutama CO_2 , akan digunakan oleh tumbuhan untuk merombak bahan-bahan anorganik menjadi bahan organik yang kemudian akan digunakan tumbuhan untuk melangsungkan kehidupannya. Perlu diketahui bahwa tidak hanya CO_2 saja yang dimanfaatkan oleh tumbuhan, tetapi gas O_2 juga dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan, terutama ketika malam hari.

Pertukaran gas ini dapat terjadi di seluruh bagian tumbuhan. Pada daun, saluran pertukaran gas ini adalah melalui stomata, sedangkan pada akar dan batang saluran pertukaran gas ini adalah melalui lentisel. Ada beberapa tumbuhan yang memiliki organ tambahan sebagai alat pernapasannya. Contohnya adalah akar nafas yang dimiliki oleh pohon beringin. Akar nafas ini keluar melalui cabang – cabang tanaman tersebut dan membantu tanaman dalam hal proses pernapasan. Pertukaran gas pada tumbuhan berlangsung di sel-sel jaringan bunga karang (spons) di lapisan mesofil daun. Gas masuk dan keluar melalui lubang yang bernama stomata. Gas yg masuk adalah gas karbon dioksida yang dibutuhkan tumbuhan untuk berfotosintesis, sedangkan gas yang keluar adalah gas oksigen yang merupakan salah satu hasil akhir dari proses fotosintesis.

B. Mekanisme Pertukaran Gas

Pertukaran gas pada tumbuhan hijau pada hakikatnya adalah kebalikan dari proses fotosintesis. Proses fotosintesis membentuk zat makanan dan melepaskan oksigen, sedangkan pada proses pertukaran gas memerlukan oksigen untuk oksidasi atau untuk pembakaran zat makanan sehingga diperoleh energi.

Pertukaran gas antara tumbuhan dan lingkungannya merupakan bagian yang penting dalam respirasi. Pertukaran gas secara keseluruhan berlangsung secara difusi. Difusi merupakan perpindahan zat dari larutan pekat ke larutan encer. Oksigen akan masuk ke dalam sel tumbuhan secara difusi melalui ruang antar sel, dinding sel, membran sel, dan akhirnya masuk ke dalam sel. Begitu juga dengan karbondioksida, yang akan berdifusi ke luar sel dan masuk ke ruang antar sel. Transpor oksigen dan karbon dioksida antara ruang antar sel dengan lingkungan luar juga berlangsung secara difusi. Pertukaran gas pada tumbuhan ada 2 macam yaitu, yang terjadi pada tumbuhan tingkat tinggi dan tumbuhan tingkat rendah. Pertukaran gas yang terjadi pada tumbuhan tingkat tinggi merupakan pernafasan *aerob*. Artinya, dalam proses pertukaran tersebut memerlukan oksigen dari lingkungan.

Pada tumbuhan tingkat tinggi, alat pertukaran gas terdapat pada akar, batang, dan daun. Pertukaran gas terjadi melalui stomata atau mulut daun. Stomata merupakan celah-celah yang sangat kecil pada permukaan daun. Membuka dan menutupnya stomata dipengaruhi oleh kadar air dari sel-sel yang terdekat dengan stomata atau biasa disebut dengan sel penjaga. Jika sel penjaga menerima banyak air, sel tersebut akan mengembang dan stomata membuka. Sebaliknya, jika sel penjaga kekurangan air, sel tersebut akan mengerut dan stomata menutup.

Alat pertukaran gas pada tumbuhan yang terdapat pada batang adalah *lentisel*. *Lentisel* adalah celah-celah pada jaringan gabus yang terdapat pada kulit batang tumbuhan yang sudah tua. Pada batang yang masih muda, susunannya masih renggang sehingga digunakan untuk menyimpan udara. Pada batang yang sudah tua, hanya terjadi melalui lentisel pada batang. Sedangkan pada akar, bagian yang berfungsi sebagai alat pertukaran gas adalah lapisan epidermis yang masih muda, yaitu bagian ujung akar yang masih terdapat bulu-bulu akar. Melalui akar-akar ini oksigen akan masuk ke bagian yang lebih dalam. Dengan adanya proses pertukaran gas melalui akar dapat menggemburkan tanah pertanian.

C. Mekanisme Transpirasi

Transpirasi ialah hilangnya uap air dari dedaunan dan bagian-bagian tumbuhan lain yang berhubungan dengan udara peristiwa perubahan air menjadi uap, yang naik ke udara melalui jaringan hidup tumbuhan, yaitu yang biasa melalui stomata daun, lentisel, dan kutikula.

Dalam mekanisme transpirasi tumbuhan, secara alamiah tumbuhan mengalami kehilangan air melalui penguapan. Proses kehilangan air pada tumbuhan ini disebut transpirasi. Pada transpirasi, hal yang penting adalah difusi uap air dari udara yang lembab di dalam daun ke udara kering di luar daun. Kehilangan air dari daun umumnya melibatkan kekuatan untuk menarik air ke dalam daun dari berkas pembuluh yaitu pergerakan air dari sistem pembuluh dari akar ke pucuk, dan bahkan dari tanah ke akar. Ada banyak langkah dimana perpindahan air dan banyak factor yang mempengaruhi pergerakannya.

1. Difusi dan transport aktif zat terlarut.

Difusi melintasi membrane disebut transport pasif karena terjadi tanpa penggunaan energy metabolic secara langsung oleh sel. Transpor aktif adalah pemompaan zat terlarut melintasi membrane melawan gradien elektrokimiawi zat tersebut. Proses ini disebut aktif karena sel harus menggunakan energy, biasanya dalam bentuk ATP, untuk mentranspor zat terlarut melawan arah difusi zat tersebut.

Sebagian zat terlarut tidak bias berdifusi melintasi lapisan ganda fosfolipid membrane secara langsung. Sebagai gantinya, mereka harus melewati protein transport yang tertanam didalam membrane. Protein transport yang terlibat dalam transport aktif memerlukan energy agar berfungsi, sementara yang terlibat dalam transport aktif pasif tidak memerlukannya. Pada beberapa kasus, protein transport berkaitan secara selektif dengan suatu zat terlarut pada suatu sisi membrane dan kemudian berubah bentuk, melepaskan zat terlarut pada sisi berlawanan protein transport yang lain menyediakan saluran selektif melintasi membrane.

2. Difusi air (osmosis)

Tumbuhan harus menyeimbangkan absorpsi dan kehilangan air. Absorpsi atau kehilangan air suatu sel melalui osmosis, difusi air melintasi suatu membrane tekanan fisik dinding sel yang mendorong kembali melawan protoplas yang mengembang. Efek gabungan dari konsentrasi zat terlarut dan tekanan fisik disatukan kedalam suatu kuantitas yang disebut potensial air. Potensial air menentukan arah pergerakan air. Gagasan utama yang harus diingat adalah air/bebas air yang tidak terikat pada zat terlarut atau permukaan/bergerak dari daerah yang memiliki potensial air lebih tinggi menuju ke daerah yang rendah jika tidak ada merintangi alirannya.

3. Absorpsi air dan mineral oleh sel-sel akar

Sel-sel di dekat ujung akar adalah yang paling penting karena sebagian besar absorpsi air dan mineral terjadi di sana. Di wilayah ini, sel-sel epidermis permeable terhadap air dan terdiferensiasi menjadi rambut-rambut akar, yaitu sel-sel yang termodifikasi yang melakukan sebagian besar penyerapan air pada akar. Rambut-rambut akar menyerap larutan tanah, yang terdiri dari molekul-molekul air dan ion-ion mineral terlarut yang tidak terikat erat ke partikel-partikel tanah. Larutan tanah mengalir ke dalam dinding hidrofil sel-sel epidermis dan lewat dengan bebas di sepanjang dinding-dinding sel dan ruang-ruang ekstraseluler menuju ke korteks akar. Aliran ini meningkatkan paparan sel-sel korteks terhadap larutan tanah. Sehingga menyediakan area permukaan membrane yang lebih besar untuk absorpsi daripada area permukaan epidermis saja. Walaupun larutan tanah biasanya memiliki konsentrasi mineral yang rendah, transport aktif memungkinkan akar mengakumulasi mineral-mineral esensial seperti kalium, sehingga konsentrasi di air mencapai ratusan kali lebih tinggi daripada dalam tanah.

4. Transpor air dan mineral ke dalam xylem

Air dan mineral yang lewat dari tanah menuju ke korteks akar tidak dapat ditranspor ke seluruh bagian tumbuhan hingga memasuki xylem di stele, atau silinder vascular. Endodermis, lapisan sel-sel terdalam pada korteks akar, mengelilingi stele dan berfungsi sebagai pemeriksaan terakhir bagi perlintasan mineral selektif dari korteks ke dalam jaringan vascular.

D. Mekanisme Membuka dan Menutupnya Stomata

Transpirasi sangat ditentukan oleh membukanya stomata. Stomata penting kalau air dari sel penutup keluar ke sel-sel sekitarnya. Perubahan-perubahan nilai potensial osmotik di dalam sel penutup disebabkan oleh perubahan kimia yang terjadi dan dalam sel penutup tersebut, yang selanjutnya akan mengubah potensial airnya.

Stomata membuka jika tekanan turgor sel penutup tinggi, dan menutup jika tekanan turgor sel penutup rendah. Ketika air dari sel tetangga memasuki sel penutup, sel penutup akan memiliki tekanan turgor yang tinggi.

Sementara itu, sel tetangga yang telah kehilangan air akan mengerut, sehingga menarik sel penutup kebelakang, maka stomata terbuka. Sebaliknya, ketika air meninggalkan sel penutup dan menuju ke dalam sel tetangga, maka

tekanan turgor di dalam sel penutup akan menurun (rendah). Sementara itu, sel tetangga yang mengakumulasi lebih banyak air akan menggelembung, sehingga mendorong sel penutup ke depan, maka stomata tertutup.

Menutupnya stomata akan menurunkan jumlah CO_2 yang masuk ke dalam daun sehingga akan mengurangi laju fotosintesis. Pada dasarnya proses membuka dan menutupnya stomata bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara kehilangan air melalui transpirasi dengan pembentukan gula melalui fotosintesis. Mekanisme membuka dan menutupnya stomata akibat tekanan turgor. Tekanan turgor adalah tekanan dinding sel oleh isi sel, banyak sedikitnya isi sel berhubungan dengan besar kecilnya tekanan pada dinding sel. Semakin banyak isi sel, maka semakin besar tekanan dinding sel. Tekanan turgor terbesar terjadi pada pukul 04.00-08.00.

Ada beberapa factor yang mempengaruhi membuka dan menutupnya stomata, yaitu :

1. Faktor Eksternal

Intensitas cahaya matahari, konsentrasi CO_2 dan asam absisat (ABA). Cahaya matahari merangsang sel penutup menyerap ion K^+ dan air, sehingga stomata membuka pada pagi hari. Konsentrasi CO_2 yang rendah di dalam daun juga menyebabkan stomata membuka.

- a. Karbondioksida, tekanan parsial CO_2 yang rendah dalam daun akan menyebabkan pH sel menjadi tinggi. Pada pH yang tinggi 6-7 akan merangsang penguraian pati menjadi gula, sehingga stomata terbuka.
- b. Air, apabila tumbuhan mengalami kekurangan air, maka potensial air pada daun akan turun, termasuk sel penutupnya sehingga stomata akan tertutup.
- c. Cahaya, dengan adanya cahaya maka fotosintesis akan berjalan, sehingga CO_2 dalam daun akan berkurang dan stomata terbuka.
- d. Suhu, naiknya suhu akan meningkatkan laju respirasi sehingga kadar CO_2 dalam daun meningkat, pH akan turun dan stomata tertutup.
- e. Angin, angin berpengaruh terhadap membuka dan menutupnya stomata secara tidak langsung. Dalam keadaan angin yang bertiup kencang pengeluaran air melalui transpirasi seringkali melebihi kemampuan tumbuhan untuk menggantinya. Akibatnya daun dapat mengalami kekurangan air sehingga turgornya turun dan stomata akan tertutup.

2. Faktor Internal (jam biologis, jam biologis memicu serapan ion pada pagi hari sehingga stomata membuka, sedangkan malam hari terjadi pembebasan ion yang menyebabkan stomata menutup.

Stomata pada tumbuhan berbeda karena perbedaan keadaan letak sel penutup, penyebarannya, bentuk dan letak penebalan dinding sel penutup serta arah membukanya sel penutup, jumlah dan letak sel tetangga pada tumbuhan monokotil dan dikotil, letak sel-sel penutup terhadap permukaan epidermis, dan antogen/asal usulnya. Pada beberapa tumbuhan misalnya kelompok tumbuhan CAM, stomata membuka pada malam hari sedangkan pada siang hari stomata menutup.

E. Integrasi Ayat AL-Qur'an Berkaitan Pertukaran Gas

Surah Al-Baqarah/2: 29

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى
السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾

Artinya:

"Dialah (Allah) yang menciptakan segala apa yang ada di bumi untukmu kemudian Dia menuju ke langit, lalu Dia menyempurnakannya menjadi tujuh langit. Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu (Alquran, Surah al-Baqarah/2: 29)

Salah satu kebutuhan vital manusia adalah air, terutama untuk keperluan minum dan bersuci (*tahārah*). Orang bisa bertahan hidup lebih lama tanpa makan, tetapi tidak tanpa air. Air yang disediakan melimpah di planet kita pada dasarnya jumlahnya tetap, hanya saja terus bersirkulasi dengan sangat menakjubkan. Dari laut air menguap ke udara, lalu dibawa angin ke tempat tertentu menjadi tetesan-tetesan hujan yang membasahi bumi. Sebagian untuk kebutuhan langsung tumbuhan, hewan, dan manusia. Sebagian terserap ke dalam tanah menjadi cadangan atau persediaan air tanah. Sebagian yang lain bergerak menuju laut yang dapat dimanfaatkan berbagai jenis makhluk sepanjang perjalanannya, bahkan keperluan lebih besar, misalnya sebagai prasarana transportasi air.

F. Rangkuman

Pertukaran gas pada tumbuhan adalah suatu proses pemanfaatan gas yang ada di udara oleh tumbuhan untuk digunakan sebagai zat yang akan membantu metabolisme di dalam tumbuhan. Pertukaran gas antara tumbuhan dan lingkungannya merupakan bagian yang penting dalam respirasi. Pertukaran gas secara keseluruhan berlangsung secara difusi.

Transpirasi ialah hilangnya uap air dari dedaunan dan bagian-bagian tumbuhan lain yang berhubungan dengan udara peristiwa perubahan air menjadi uap, yang naik ke udara melalui jaringan hidup tumbuh-tumbuhan, yaitu yang biasa melalui stomata daun, lentisel, dan kutikula. Ada banyak langkah dimana perpindahan air dan banyak factor yang mempengaruhi pergerakannya, yaitu difusi dan transport aktif zat terlarut, difusi air (osmosis), absorpsi air dan mineral oleh sel-sel akar, transpor air dan mineral ke dalam xylem.

Mekanisme membuka dan menutupnya stomata, yaitu apabila stomata membuka jika tekanan turgor sel penutup tinggi, dan menutup jika tekanan turgor sel penutup rendah. Sedangkan menutupnya stomata akan menurunkan jumlah CO_2 yang masuk ke dalam daun sehingga akan mengurangi laju fotosintesis. Pada dasarnya proses membuka dan menutupnya stomata bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara kehilangan air melalui transpirasi dengan pembentukan gula melalui fotosintesis. Integrasi ayat Al-Qur'an berkaitan dengan pertukaran gas pada tumbuhan terdapat dalam Q.S al-Baqarah/2: 29.

BAB IV

RESPIRASI

A. Pengertian Respirasi

Respirasi adalah proses mobilisasi energi yang dilakukan makhluk hidup melalui pemecahan senyawa berenergi tinggi (SET) untuk digunakan dalam menjalankan fungsi hidup. Dalam pengertian kegiatan kehidupan sehari-hari, respirasi dapat disamakan dengan pernapasan. Namun, istilah respirasi mencakup proses-proses yang juga tidak tercakup pada istilah pernapasan. Respirasi terjadi pada semua tingkatan organisme hidup, mulai dari individu hingga satuan terkecil, sel. Apabila pernapasan biasanya diasosiasikan dengan penggunaan oksigen sebagai senyawa pemecah, respirasi tidak selalu melibatkan oksigen.

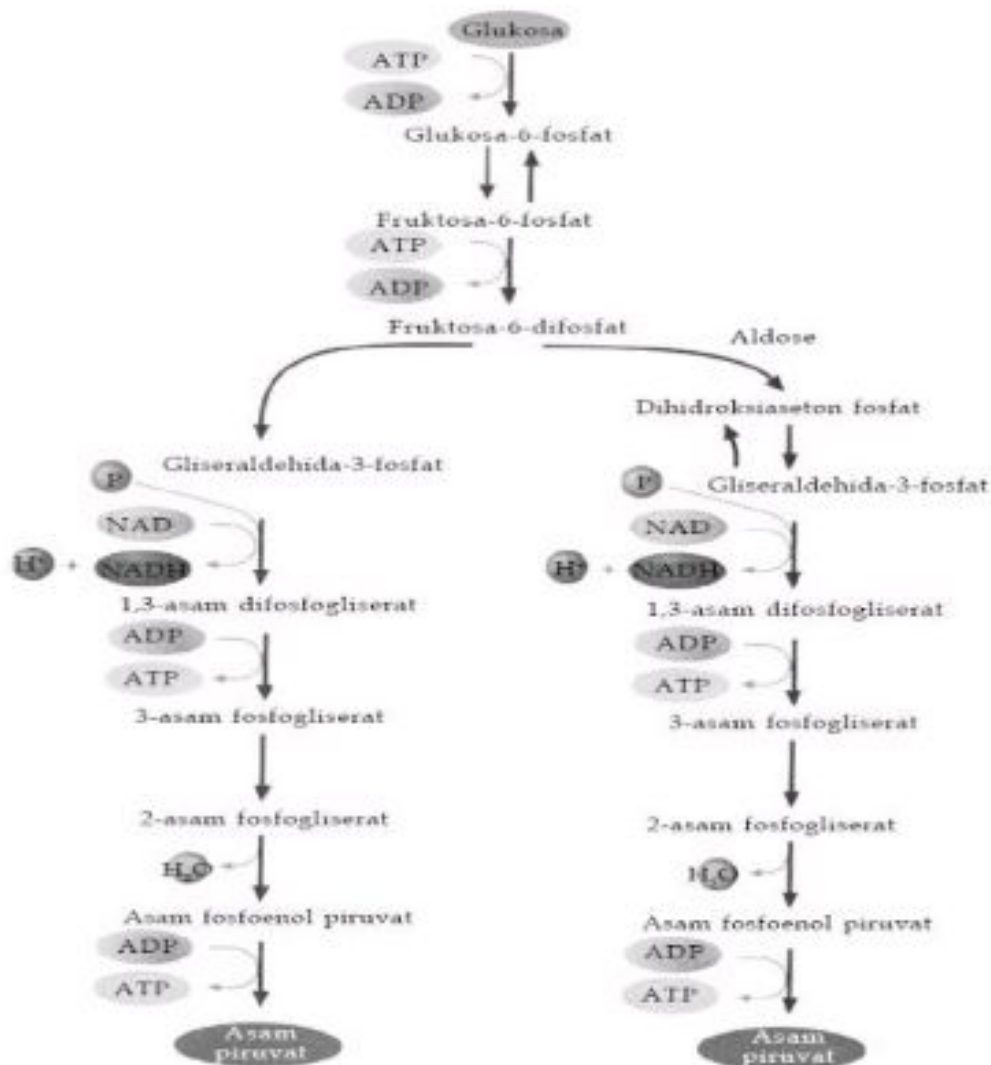
B. Faktor yang Mempengaruhi Respirasi

Ada beberapa macam factor-faktor yang mempengaruhi respirasi yaitu:

1. Substrat yaitu, bergantung pada tersedianya substrat terutama dalam bentuk karbohidrat (amilum, glukosa).
2. Temperature, dalam respirasi ini dalam kehidupan di muka bumi ini berada dalam suatu suhu antara 00 C sampai dengan 500 C, dalam individu ini tumbuhan mempunyai suhu minimum, maksimum dan optimum yang diperlukan untuk aktifitas metabolismenya.
3. Umur dan tipe jaringan, respirasi pada jaringan muda lebih kuat daripada jaringan tua. Pada jaringan yang berkembang (tumbuh) respirasi lebih tinggi dari pada jaringan yang sudah matang.
4. Luka, terjadinya luka disuatu bagian tumbuhan menyebabkan respirasi ditempat tersebut naik, akibat terbentuknya meristem luka yang menghasilkan kalsus. Kenaikan respirasi ini mungkin dapat disebabkan oleh semakin banyaknya osmosis dan difusi O_2 yang masuk di jaringan yang luka.

C. Glikolisis

Glikolisis merupakan proses perubahan glukosa menjadi dua molekul asam piruvat dengan menghasilkan ATP dan NADH. Glikolisis terjadi pada sel mikroorganisme, tumbuhan, dan hewan melalui 10 tahap reaksi. Proses ini terjadi disitoplasma dengan bantuan 10 jenis enzim yang berbeda. Glukosa dalam sel mengalami berbagai jalur metabolisme, baik disimpan, diubah menjadi energy, ataupun diubah menjadi molekul lain. Apabila terjadi kelebihan gula dalam darah, glukosa akan disimpan dalam otot atau hati dalam bentuk glikogen. Apabila sel-sel aktif dalam tubuh membelah, glukosa akan diubah menjadi gula pentosa yang penting dalam sintesis DNA dan RNA. Adapun proses glikolisis yaitu:



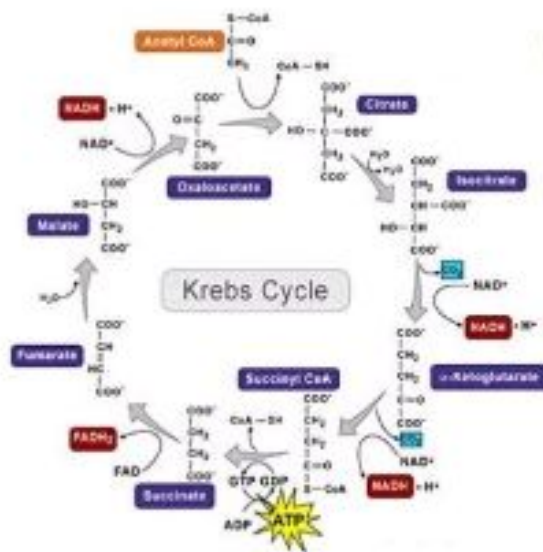
D. Siklus Krebs

Siklus Krebs disebut juga sebagai siklus asam sitrat, yaitu serangkaian reaksi kimia dalam sel pada matriks mitokondria yang berlangsung secara berurutan dan berulang terjadi dan disebut juga siklus asam trikarboksilat. Hal ini disebabkan siklus Krebs tersebut menghasilkan senyawa yang mempunyai 3 gugus karboksil, seperti asam sitrat dan asam isositrat. Asetil koenzim A hasil dekarboksilasi oksidatif memasuki matriks mitokondria untuk bergabung dengan asam oksaloasetat dalam siklus Krebs, membentuk asam sitrat.

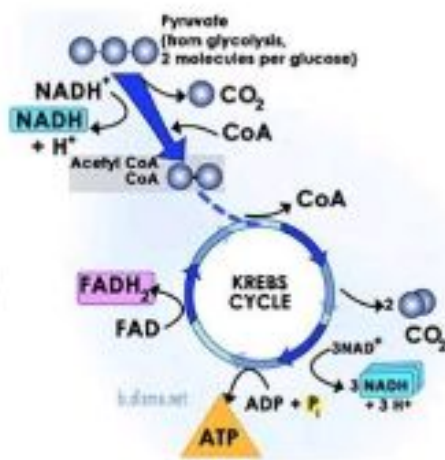
Tahap awal dari Siklus Krebs adalah oksidasi (dan lepasnya satu CO_2) dari piruvat (yang dihasilkan dari reaksi glikolisis). Kemudian unit asetat dengan 2-C yang tersisa bergabung dengan suatu senyawa yang mengandung belerang yang disebut koenzim A untuk membentuk asetil CoA. Reaksi dekarboksilasi piruvat ini melibatkan thiamin (vitamin B_1) dalam bentuk terfosforilasi sebagai gugus prostetik. Peran ini menjelaskan fungsi esensial vitamin B_1 bagi tumbuhan. Di samping kehilangan CO_2 , juga dibebaskan 2 atom H dari asam piruvat selama pembentukan asetil CoA. Enzim yang berperan dalam reaksi pembentukan asetil CoA ini adalah asam piruvat dehidrogenase. Enzim ini sesungguhnya merupakan suatu kompleks yang terdiri dari 3-4 enzim yang berbeda. Atom H yang dibebaskan akan diterima oleh NAD^+ untuk menghasilkan NADH.

Pada reaksi-reaksi Siklus Krebs akan dibebaskan electron dari asam-asam organik senyawa antara dan electron yang dibebaskan tersebut ditransfer ke NAD^+ atau FAD. Tidak ada enzim pada siklus krebs yang menggunakan NADP^+ sebagai penerima electron. NADP^+ umumnya tidak terdeteksi pada mitokondria tumbuhan, berbeda dengan pada kloroplas di mana NADP^+ terkandung dalam jumlah yang banyak, sebaliknya NAD^+ jarang dijumpai pada kloroplas. Selain NADH dan FADH_2 , pada siklus krebs juga secara langsung yang dihasilkan suatu molekul ATP dan ADP dan P_i pada reaksi konversi suksinil CoA menjadi asam suksinat.

Pada Siklus Krebs akan dibebaskan 2 molekul CO_2 lagi. CO_2 yang dihasilkan ini merupakan penjelasan dari CO_2 yang dihasilkan seperti yang terlihat pada reaksi umum respirasi. Tetapi pada reaksi-reaksi siklus krebs tidak ada O_2 yang dimanfaatkan. Oksigen baru digunakan pada tahapan respirasi berikutnya, yakni pada transfer elektron dan fosforilasi oksidatif.



Siklus Krebs (asam sitrat)



Fungsi utama siklus krebs, yaitu:

1. Mereduksi NAD^+ dan FAD menjadi NADH dan FADH_2 yang kemudian dioksidasi untuk menghasilkan ATP.
2. Sintesis ATP secara langsung, yakni 1 molekul ATP untuk setiap molekul piruvat yang dioksidasi.

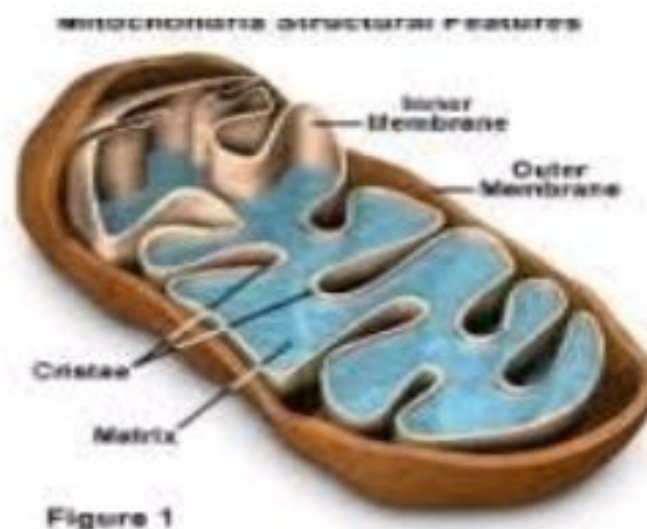
Pembentukan kerangka karbon yang dapat digunakan untuk sintesis asam-asam amino tertentu, yang kemudian dapat dikonversi untuk membentuk senyawa yang lebih besar.

E. Transport Elektron

Reaksi respirasi merupakan reaksi katabolisme yang memecah molekul-molekul gula menjadi molekul anorganik menjadi CO_2 dan H_2O . Respirasi membantu mendapatkan energi melalui proses glikolisis. Senyawa gula yang digunakan berasal dari proses fotosintesis. Butiran amilum yang disimpan dalam jaringan dan organ penyimpan makanan akan diubah menjadi fosfat di dalam sel sitoplasma. Glukosa fosfat akan dipecah menjadi asam piruvat dan masuk ke dalam siklus Krebs. Pada saat glikolisis berlanjut dalam siklus Krebs akan menghasilkan CO_2 yang dikeluarkan dari dalam sel. Gas tersebut akan berdifusi dan terkumpul dalam rongga-rongga antarsel, mengumpulkan tekanan yang cukup akan keluar dari jaringan.

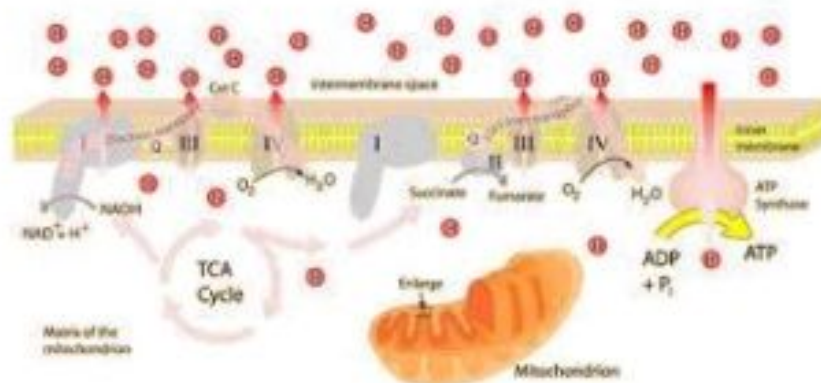
Transfer elektron ditemukan oleh Eugene Kennedy dan Albert Lehniger pada tahun 1948. Transpor elektron sendiri terjadi pada membran bagian dalam mitokondria. Rantai transpor elektron adalah tahapan terakhir dari reaksi respirasi aerob. Transpor elektron juga disebut sebagai rantai respirasi atau sistem oksidasi terminal. Molekul yang berperan penting dalam reaksi transpor elektron adalah NADH dan FADH_2 , yang dihasilkan dari reaksi glikolisis, dekarboksilat oksidatif dan siklus Krebs. Molekul lain yang berperan yaitu molekul oksigen, koenzim Q (Ubiquinone), sitokrom b, sitokrom c dan sitokrom a.

Proses pembentukan ATP pada transpor elektron pertama-tama NADH dan FADH_2 memperbaiki oksidasi kemudian elektron dari reaksi oksidasi ditransfer pada koenzim Q. Energi yang dihasilkan komposisi NADH dan FADH_2 melepaskan elektronnya cukup besar untuk menyatukan ADP dan fosfat anorganik menjadi ATP. Energi yang dihasilkan dari proses oksidasi sitokrom oleh sitokrom juga menghasilkan cukup energi untuk menyatukan ADP dan fosfat anorganik menjadi ATP.



Berdasarkan gambar diatas, pembentukan ATP di dalam mitokondria merupakan hasil dari pengaturan atau asam lemak (glycerol) secara aerobik menjadi asam piruvat untuk proses akhir yang menghasilkan transpor elektron. Pada dasarnya mitokondria dapat memperbanyak dirinya sendiri, hal ini dilakukan untuk keperluan meningkatkan jumlah ATP-nya. Dalam proses pemecahan karbohidrat, asam piruvat kehilangan CO_2 menjadi Asetyl yang berkombinasi dengan koenzim A membentuk asetil-KoA sebelum memulai

siklus krebs. Menurut Hasyim., (2010) tentang reaksi sistem aerobik yang terjadi di dalam mitokondria yang melibatkan beberapa reaksi, yaitu glikolisis aerobik, siklus krebs, dan sistem transport elektron, sedangkan glikolisis aerobik merupakan reaksi pertama dalam pemecahan glikogen menjadi CO_2 dan H_2O yang disebut sebagai glikolisis. Ada perbedaan antara glikolisis anaerob dan aerobik, yaitu tidak terjadi pada asam laktat pada glikolisis aerob. Dalam glikolisis, hasil akhirnya terdiri dari dua molekul asam piruvat, dua ATP dan 4H.



Gambar Proses Rantai Transpor Elektron.

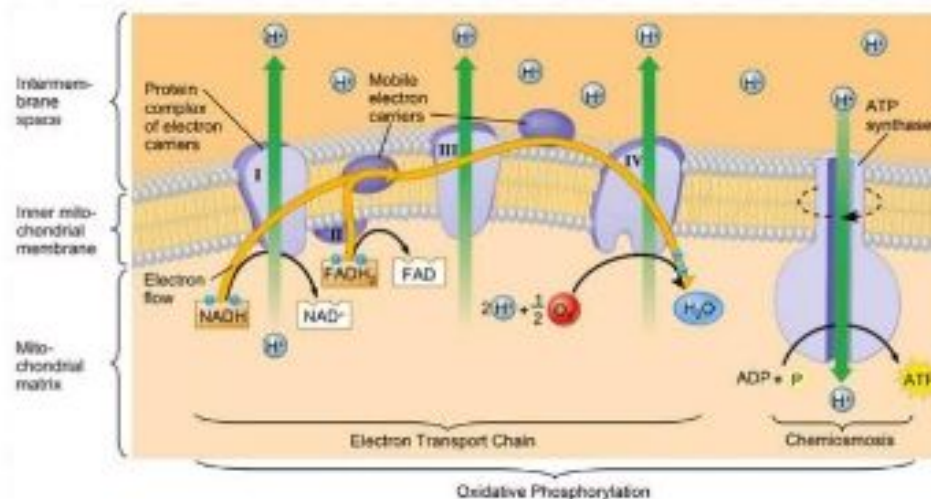
Tahapan pertama proses transpor elektron dari NADH melepaskan elektron ke protein kompleks I. Peristiwa ini melepaskan energi yang dipompanya H^+ dari matriks mitokondria menuju ruang antar membran. NADH menjadi NADH^+ kemudian elektron diteruskan ke ubiquinon. Elektron diteruskan ke protein kompleks III. Hal ini memacu dipompanya $\text{H}^{+ \text{keluar}}$ menuju ruang antar membran. Elektron diteruskan ke sitokrom c. Elektron diteruskan ke kompleks protein IV. Hal ini keluar dari $\text{H}^{+ \text{keluar}}$ menuju ruang antar membran. Elektron kemudian akan diterima oleh molekul oksigen, yang kemudian berikatan dengan 2 ion H^+ membentuk H_2O . H^+ akan kembali menuju matriks mitokondria melalui enzim ATP sintase. Lewatnya H^+ pada ATP sintase akan diaktifkan enzim tersebut membentuk ATP secara bersamaan. Proses pembentukan 3 molekul H^+ menjadi 3 ATP disebut dengan proses Kemiosmosis. Dari proses tersebut dapat disimpulkan bahwa 1 molekul NADH akan menghasilkan 3 ATP.

Tahapan transfer elektron dari FADH_2 yaitu FADH_2 akan mentransfer elektronnya ke protein kompleks II. Transfer ke protein kompleks II tidak dapat dipompanya $\text{H}^{+ \text{keluar}}$ menuju ruang antar membran. Setelah itu, elektron akan

diambil oleh ubiquinon dan proses selanjutnya sama dengan transfer NADH. Pada proses FADH_2 1 molekul FADH_2 menghasilkan 2 ATP. Proses-proses tersebut adalah proses akhir dari respirasi aerobekul demokrasi. Respirasi ini akan menghasilkan energi sebesar 38 ATP dengan hasil akhir berupa CO_2 dan H_2O yang dikeluarkan sebagai sisa respirasi. Satu molekul yang ditagihkan ke atom C, yang akan dipindahkan akan melepaskan 6 molekul CO_2 karbon dioksida tersebut akan dilepaskan pada dekarboksilasi oksidatif dan siklus krebs. Akan tetapi, karena dibutuhkan 2 ATP untuk melakukan transpor aktif, maka hasil bersih dari setiap respirasi seluler adalah 36 ATP.

Disebut dengan transfer elektron karena dalam prosesnya terjadi transfer elektron dari satu protein ke protein yang lain. Elektron yang ditransfer berasal dari NADH dan FADH_2 yang telah terbentuk sebelumnya. Elektron akan ditransfer dari tingkat energi tinggi menuju tingkat energi yang lebih rendah sehingga akan melepaskan energi yang akan digunakan untuk membentuk ATP.

Pada membran dalam mitokondria terdapat kompleks protein I, kompleks protein II, ubiquinon (Q), kompleks protein III, sitokrom c (cyt c), dan kompleks protein IV. Elektron akan ditransfer ke masing-masing protein tersebut untuk membentuk ATP. Sedangkan molekul O_2 akan berperan sebagai penerima elektron terakhir yang nantinya akan berubah menjadi H_2O . ATP akan dihasilkan oleh enzim ATP sintase melalui proses yang disebut kemiosmosis.



Tahapan transfer elektron adalah sebagai berikut:

1. NADH akan melepaskan elektronnya (e^-) kepada kompleks protein I. Peristiwa ini membebaskan energi yang memicu dipompanya H^+ dari matriks mitokondria menuju ruang antar membran. NADH yang telah kehilangan elektron akan berubah menjadi NAD^+ .
2. Elektron akan diteruskan kepada ubiquinon.
3. Kemudian elektron diteruskan pada kompleks protein III. Hal ini akan memicu dipompanya H^+ keluar menuju ruang antar membran.
4. Elektron akan diteruskan kepada sitokrom c.
5. Elektron akan diteruskan kepada kompleks protein IV. Hal ini juga akan memicu dipompanya H^+ keluar menuju ruang antar membran.
6. Elektron kemudian akan diterima oleh molekul oksigen, yang kemudian berikatan dengan 2 ion H^+ membentuk H_2O .
7. Bila dihitung, transfer elektron dari bermacam-macam protein tadi memicu dipompanya 3 H^+ keluar menuju ruang antar membran. H^+ atau proton tersebut akan kembali menuju matriks mitokondria melalui enzim yang disebut ATP sintase.
8. Lewatnya H^+ pada ATP sintase akan memicu enzim tersebut membentuk ATP secara bersamaan. Karena terdapat 3 H^+ yang masuk kembali ke dalam matriks, maka terbentuklah 3 molekul ATP.
9. Proses pembentukan ATP oleh enzim ATP sintase tersebut dinamakan dengan kemiosmosis.

F. Fotosintesis dan Fotorespirasi

1. Pengertian Fotosintesis

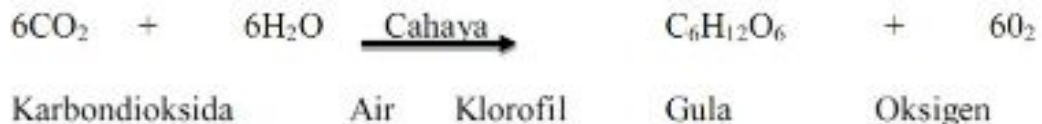
Fotosintesis berasal dari kata *Fotos* yang artinya cahaya, dan *sisntesis* yaitu penyusunan atau membuat bahan kimia. Jadi, fotosintesis adalah peristiwa dimana penyusunan zat organik yang terdiri dari air dan karbondioksida dengan bantuan cahaya atau foton matahari.

Menurut Kamus Besar Biologi fotosintesis adalah mensintesa zat makanan (bahan organik) dengan mendapat energi dari cahaya matahari. Air (H_2O) dari tanah beserta asam arang (CO_2) dari udara, diubah menjadi glukosa ($C_6H_{12}O_6$) di daun. Untuk mengikat energi cahaya matahari itu perlu kehadiran klorofil (zat hijau daun) di daun.

Di antara membran tilakoid banyak terdapat kelompok pigmen penangkap cahaya. Kelompok ini mengabsorpsi foton dengan berbagai

energi. Membran juga membentuk fotosistem kelompok yang terdiri atas ratusan pigmen dan molekul lain yang bekerja sebagai satu unit untuk memulai reaksi fotosintesis. Kloroplas mengandung dua jenis fotosistem yaitu I dan II, yang diberi nama menurut urutan penemuannya. Kedua tipe tersebut mengubah energi cahaya menjadi energi kimia.

Fotosintesis diringkas dalam persamaan sederhana dari reaktan menjadi produk:



Fotosintesis terjadi dalam dua tahap reaksi. Pada tahap pertama reaksi yang bergantung pada cahaya, energi cahaya diubah menjadi energi ikatan kimia dalam bentuk ATP. Koenzim NADP^+ menerima elektron dan ion hidrogen menjadi NADPH. Atom oksigen dilepaskan oleh sel dari pemecahan molekul air. Tahap kedua reaksi yang tidak bergantung pada cahaya, berjalan dengan adanya energi yang dikirimkan oleh ATP dan NADPH yang terbentuk pada tahap pertama. Energi mendorong terjadinya pembentukan glukosa dan karbohidrat lainnya dari karbon dioksida dan air.

Menurut ilmu biologi, Fotosintesis adalah proses pengubahan energi cahaya matahari menjadi energi kimia kemudian menyimpannya dalam bentuk glukosa. Proses ini terjadi hanya pada tumbuhan dan beberapa ganggang (Kingdom Protista). Tumbuhan hanya memerlukan cahaya, CO_2 , dan H_2O untuk membentuk glukosa. Proses fotosintesis terjadi di kloroplas, lebih khususnya yaitu pigmen hijau yang terlibat dalam fotosintesis.

Fotosintesis terjadi terutama pada daun. Bagian khas dari daun meliputi epidermis atas dan bagian bawah daun, mesofil daun, bundel vaskuler dan stomata. Sel-sel epidermis atas dan bawah tidak memiliki kloroplas sehingga fotosintesis tidak dapat terjadi. Bagian tersebut hanya berfungsi sebagai pelindung bagi daun.

Pada stomata terdapat lubang yang berada terutama pada epidermis bawah dan untuk pertukaran udara, stomata akan membiarkan CO_2 masuk dan akan mengeluarkan O_2 . Bundel vaskuler atau pembuluh darah yang

terdapat di daun merupakan bagian dari sistem transportasi tumbuhan, dimana air dan nutrisi bergerak disekitar pabrik yang diperlukan.

2. Proses Fotosintesis

Tumbuhan bersifat autotrof. Autotrof artinya dapat mensintesis makanan langsung dari senyawa anorganik. Tumbuhan menggunakan karbon dioksida dan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang diperlukan sebagai makanannya. Energi untuk menjalankan proses ini berasal dari fotosintesis. Fotosintesis berasal dari dua kata yaitu *Photo* yang berarti Cahaya dan *Synthesis* yang berarti proses pembuatan atau pengolahan. Proses fotosintesis merupakan proses mengolah bahan yang sederhana menjadi bahan yang kompleks dengan menggunakan bantuan dari cahaya.

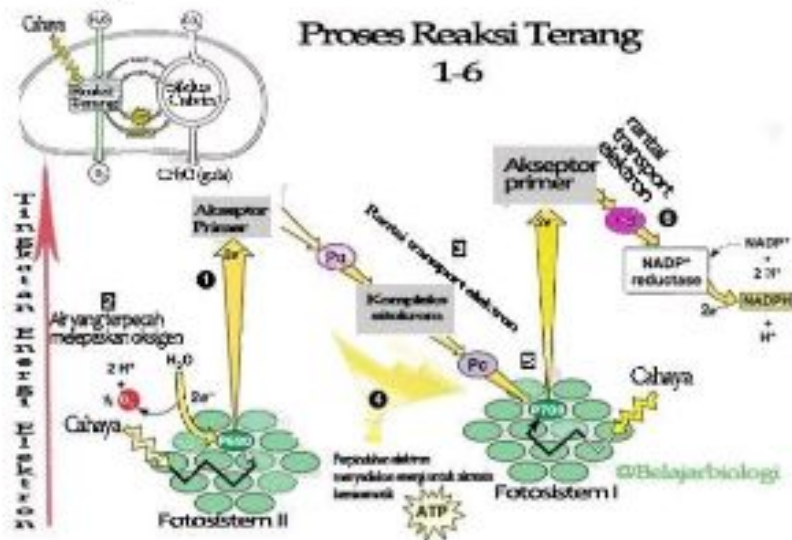
Bahan sederhana yang digunakan oleh tumbuhan untuk fotosintesis adalah karbon dioksida dan air. Tumbuhan umumnya mendapat karbon dioksida dari udara dan mendapatkan air dari tanah. Karbon dioksida diubah menjadi gula. Hasil sampingan proses ini adalah gas oksigen. Proses atau reaksi ini sangat memerlukan energi yang secara alami didapat dari cahaya matahari. Energi dari cahaya matahari itu diserap dari klorofil yang terdapat pada tumbuhan

Sebenarnya, proses fotosintesis bukanlah reaksi tunggal, melainkan terdiri dari beberapa tahap reaksi yang kompleks. Reaksi tersebut dapat menghasilkan oksigen dan glukosa. Glukosa tersebut dapat digunakan untuk membentuk senyawa organik lain seperti selulosa dan dapat pula digunakan sebagai bahan bakar. Proses ini berlangsung melalui respirasi seluler yang terjadi baik pada hewan maupun tumbuhan. Secara umum reaksi yang terjadi pada respirasi seluler berkebalikan dengan persamaan di atas. Pada proses respirasi, gula atau glukosa dan senyawa lain akan bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan karbon dioksida, air, dan energi kimia.

Tumbuhan menangkap cahaya menggunakan pigmen yang disebut klorofil. Pigmen inilah yang memberi warna hijau pada tumbuhan. Klorofil terdapat dalam organel yang disebut kloroplas. Klorofil menyerap cahaya yang akan digunakan dalam fotosintesis. Meskipun seluruh bagian tubuh tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, namun sebagian besar energi dihasilkan di daun. Di dalam daun terdapat lapisan sel yang disebut mesofil yang mengandung setengah juta kloroplas setiap

milimeter persegi. Cahaya akan melewati lapisan epidermis tanpa warna dan yang transparan, menuju mesofil, tempat terjadinya sebagian besar proses fotosintesis. Permukaan daun biasanya dilapisi oleh kutikula dari lilin yang bersifat anti air untuk mencegah terjadinya penyerapan sinar Matahari ataupun penguapan air yang berlebihan. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan secara sederhana sebagai berikut. Proses fotosintesis yang terjadi di kloroplas melalui dua tahap reaksi. Kedua reaksi tersebut diantaranya adalah reaksi terang dan reaksi gelap. Kedua reaksi tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

a. Reaksi Terang



Reaksi terang berlangsung di dalam membran tilakoid di grana. Grana adalah struktur bentukan membran tilakoid yang terbentuk dalam stroma, yaitu salah satu ruangan dalam kloroplas. Di dalam grana terdapat klorofil, yaitu pigmen yang berperan dalam proses fotosintesis. Dalam reaksi terang ini, klorofil menyerap cahaya nila. Energi yang ditangkap oleh klorofil digunakan untuk memecah molekul air. Reaksi tersebut disebut reaksi fotolisis karena proses penyerapan energi cahaya dan penguraian atau pemecahan molekul air menjadi oksigen dan hidrogen.

➤ Fotofosforilasi Siklik.

Fotosintesis adalah proses anabolisme , membentuk senyawa kompleks Glukosa dari senyawa sederhana CO₂ dan Oksigen yang dilisis dari H₂O oleh cahaya yang kemudian H nya diketemukan

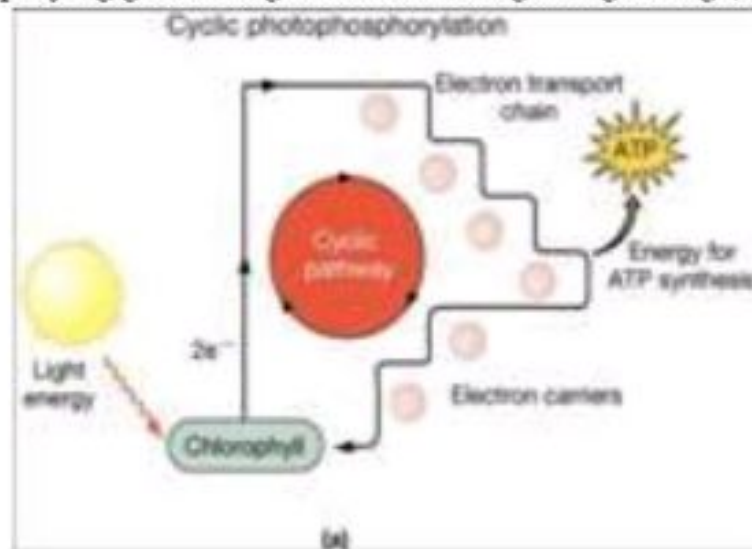
dengan CO₂ jadi Glukosa. Proses ini hanya bisa dilakukan oleh makhluk hidup autotrop yaitu makhluk hidup yang mempunyai khlorofil khususnya pada tumbuhan hijau. Emang sungguh keren kok makhluk hidup autotrop itu diberi air dijadikan oksigen, diberi CO₂ (abab meski bau) dijadikan glukosa/amilum. Jika kamu mengeluarkan hasil respirasimu ke daun rambutan maka segera buah rambutan menjadi besar OK. Karbon dioksida sebagai sisa ekskresi dirubah jadi nasi atau buah buahan dan lainnya. CO dirubah jadi CHO sehingga memerlukan H⁺ dari air yang dilisis oleh matahari yang ditangkap klorofil (amazing). Hebat memang energi cahaya bisa dirubah jadi energi kimia.

- Proses fotosintesis memerlukan energi dari energi matahari berupa Foton atau Cahaya.
- Energi foton itu digunakan untuk menggerakkan elektron melawan gradient panas di dalam fotosistem I dari sebuah agen dengan tenaga reduksi kuat, yang secara termodinamis mampu mereduksi CO₂.
- Di dalam fotosistem II H₂O akan dilisis dan terjadi fotolisis dengan pelepasan O₂, jika sebuah molekul pigmen menyerap sebuah foton masuk ke dalam sebuah keadaan tereksitasi, karena satu elektronnya pada keadaan dasar pindah ke orbit/
- Foton yang digunakan dalam fotosintesis ini dengan panjang gelombang 700 nm dan 680 nm berupa sinar merah adalah foton yang efektif untuk fotosintesis.
- Pada proses fisiologi ini foton tersebut ditangkap oleh seperangkat sistem penerima foton disebut Fotosistem.

Fotosistem itu meliputi: Fotosistem I dan Fotosistem II

Baik Fotosistem I maupun Fotosistem II itu ada di daun / grana (tilakoid) karena perangkat ini sebenarnya adalah klorofil yang membentuk sistem penangkapan cahaya sehingga disebut Photo Sistem. Pada Reaksi Terang PSI dan PS II bekerja bahu membahu untuk mempersiapkan energi guna menyediakan energi Reaksi gelap, Energi itu berupa ATP dan NADPH.

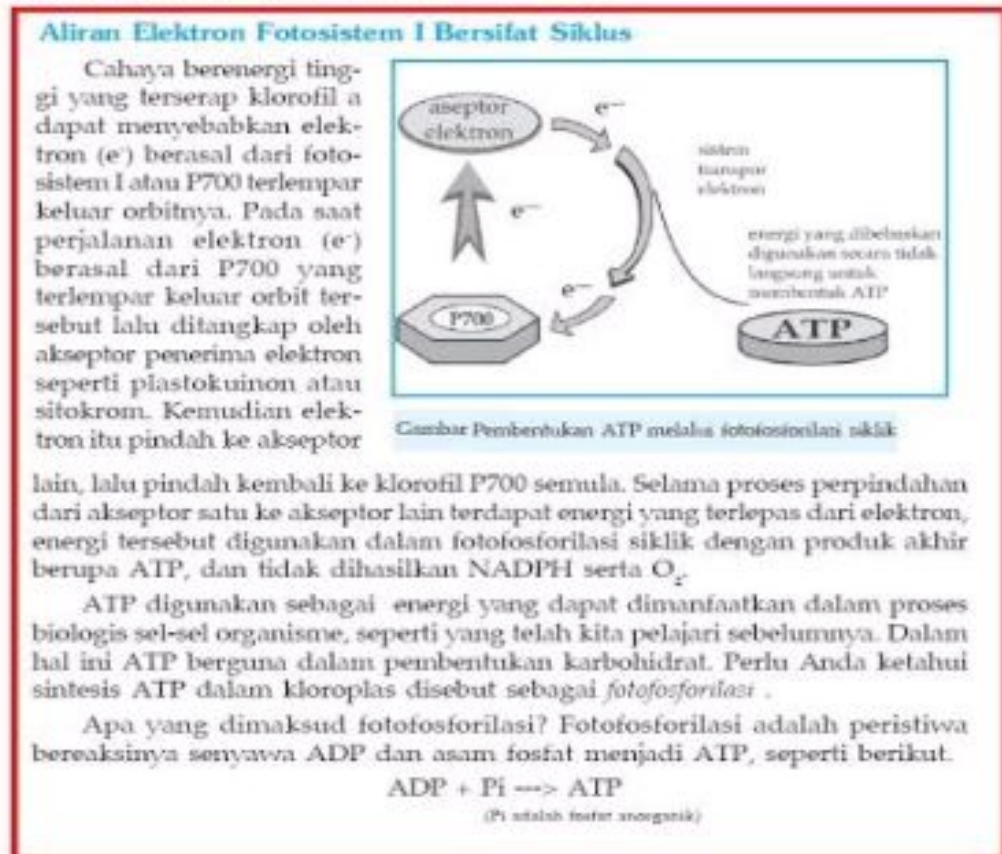
- Reaksi fotofosforilasi siklik adalah reaksi yang hanya melibatkan satu fotosistem, yaitu fotosistem I yang antinya Fotosistem ini menghasilkan ATP.
- Fotosistem I atau Photosistem I (PS I) ini disebut Fotosistem Siklik.
- Dalam fotofosforilasi siklik, pergerakan elektron dimulai dari fotosistem I dan berakhir di fotosistem I.
- Perangkat fotosistem I ini special untuk menangkap foton dengan panjang gelombang 700 maka sering orang bilang (P700)



- 1) Pertama, energi cahaya, yang dihasilkan oleh matahari, membuat elektron-elektron di P700 tereksitasi (menjadi aktif karena rangsangan dari luar), dan keluar menuju akseptor elektron primer kemudian menuju rantai transpor elektron.
- 2) Karena P700 mentransfer elektronnya ke akseptor elektron, P700 mengalami defisiensi elektron dan tidak dapat melaksanakan fungsinya.
- 3) Selama perpindahan elektron dari akseptor satu ke akseptor lain, selalu terjadi transformasi hidrogen bersama-sama elektron.
- 4) Rantai transpor ini menghasilkan gaya penggerak proton, yang memompa ion H⁺ melewati membran, yang kemudian menghasilkan gradien konsentrasi yang dapat digunakan untuk menggerakkan sintase ATP selama kemiosmosis, yang kemudian menghasilkan ATP.

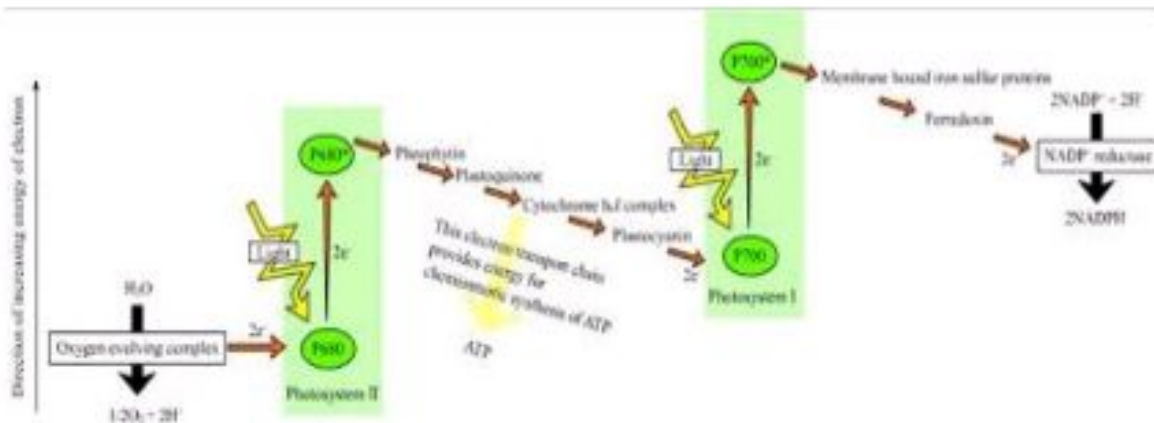
- 5) Dari rantai transpor, elektron kembali ke fotosistem I.
- 6) Dengan kembalinya elektron ke fotosistem I, maka fotosistem I dapat kembali melaksanakan fungsinya.
- 7) Fotofosforilasi siklik terjadi pada beberapa bakteri, dan juga terjadi pada semua organisme fotoautotrof.

Perhatikan gambar dibawah ini:



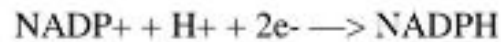
➤ Fotofosforilasi Non-Siklik

Reaksi fotofosforilasi nonsiklik adalah reaksi dua tahap yang melibatkan dua fotosistem klorofil yang berbeda, yaitu fotosistem I dan II. Dalam fotofosforilasi nonsiklik, pergerakan elektron dimulai di fotosistem II, tetapi elektron tidak kembali lagi ke fotosistem II.



- Mula-mula, molekul air diurai menjadi $2\text{H}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$.
- Dua elektron dari molekul air tersimpan di fotosistem II, sementara ion H^+ akan digunakan pada reaksi yang lain dan O_2 akan dilepaskan ke udara bebas.
- Karena tersinari oleh cahaya matahari, dua elektron yang ada di P680 menjadi tereksitasi dan keluar menuju akseptor elektron primer.
- Setelah terjadi transfer elektron, P680 menjadi defisiensi elektron, tetapi dapat cepat dipulihkan berkat elektron dari hasil penguraian air tadi.
- Setelah itu mereka bergerak lagi ke rantai transpor elektron, yang membawa mereka melewati pheophytin, plastoquinon, kompleks sitokrom b₆f, plastosianin, dan akhirnya sampai di fotosistem I, tepatnya di P700.
- Perjalanan elektron diatas disebut juga dengan "skema Z".
- Sepanjang perjalanan di rantai transpor, dua elektron tersebut mengeluarkan energi untuk reaksi sintesis kemiosmotik ATP, yang kemudian menghasilkan ATP.
- Sesampainya di fotosistem I, dua elektron tersebut mendapat pasokan tenaga yang cukup besar dari cahaya matahari.
- Kemudian elektron itu bergerak ke molekul akseptor, ferredoksin, dan akhirnya sampai di ujung rantai transpor, dimana dua elektron tersebut telah ditunggu oleh NADP^+ dan H^+ , yang berasal dari penguraian air.

- Dengan bantuan suatu enzim bernama Feredoksin-NADP reduktase, disingkat FNR, NADP^+ , H^+ , dan elektron tersebut menjalani suatu reaksi:



NADPH, sebagai hasil reaksi diatas, akan digunakan dalam reaksi Calvin-Benson, atau reaksi gelap.

Perhatikan gambar dibawah ini:

Aliran Elektron Fotosistem II Bersifat Nonsiklus

Perjalanan aliran elektron fotosistem II, elektronnya (e^-) juga berasal dari P700. Elektron (e^-) yang terlempar keluar orbit dan ditangkap oleh akseptor elektron yaitu NADPH_2 kemudian elektron (e^-) bersamaan dengan 2H^+ berasal dari pecahan H_2O mengikuti jalurnya elektron siklik pindah ke akseptor lain seperti plastosianin atau feredoksin.

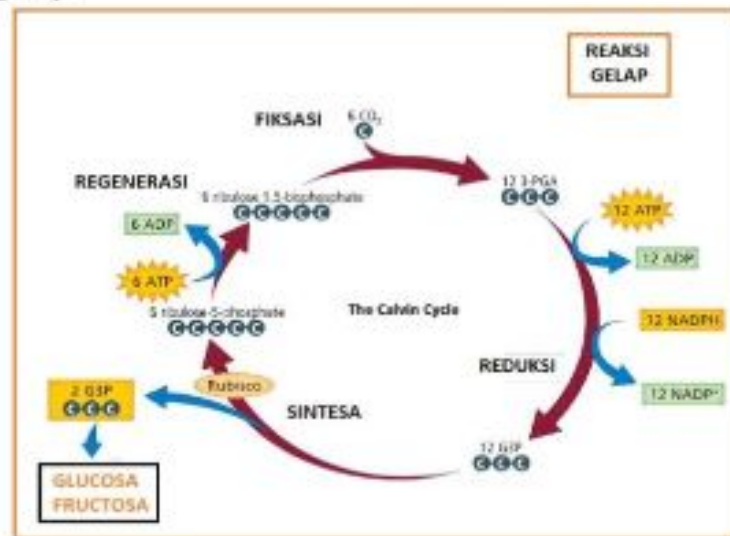
Selanjutnya elektron itu pindah dan tidak kembali ke klorofil P700, tetapi mengalir melalui membran tilakoid. Dengan pelepasan elektron tersebut, maka P700 menjadi molekul yang teroksidasi sehingga menyedot elektron dari P680 berenergi tinggi yang berasal dari energi cahaya (foton) matahari.

Molekul NADPH_2 dan ATP yang berenergi tinggi digunakan untuk mengubah CO_2 dan H_2O menjadi produk gula (seperti glukosa, maltosa, fruktosa dan amilum) dan O_2 . Proses pembentukan gula (karbohidrat) dapat Anda lihat pada siklus Calvin.

Fotofosforilasi siklik dan fotofosforilasi nonsiklik memiliki perbedaan yang mendasar, yaitu sebagai berikut:

| FOTOFOSFORILASI SIKLIK | FOTOFOSFORILASI NONSIKLIK |
|-------------------------------|---|
| Hanya melibatkan fotosistem I | Melibatkan fotosistem I dan II |
| Menghasilkan ATP | Menghasilkan O_2 dan NADPH |
| Tidak terjadi fotolisis air | Terjadi fotolisis air untuk menutupi kekurangan elektron pada fotosistem II |

b. Reaksi gelap



- Siklus Calvin-Benson dari reaksi siklik yang tidak bergantung pada cahaya ialah bagian pembentukan dalam fotosintesis.
- Berhubungan dengan karbohidrat, ATP sebagai pembawa energy.

Reaksi gelap pada fotosintesis itu merupakan serangkaian reaksi yang melibatkan pengambilan CO_2 oleh tumbuhan dan reduksi CO_2 oleh atom hidrogen. Reaksi tidak bergantung pada cahaya karena cahaya tidak memberi energy kepadanya. Sebaliknya, reaksi tersebut berjalan dengan energy ikatan ATP dan energy reduksi NADP, kedua molekul yang terbentuk pada reaksi yang bergantung pada cahaya.

Reaksi yang tidak bergantung pada cahaya, membentuk glukosa pada karbondioksida. Atom karbon yang diambil dari sumber inorganic dan menggabungkannya dalam molekul organik disebut fiksasi karbon. Pada sebagian besar tumbuhan, protista, fotosintesis, dan beberapa bakteri, enzim Rubisko mengikat karbon dengan mengikat CO_2 pada limakarbon RuBP atau Ribosa Bifosfat.

Siklus calvin terbagi menjadi tiga fase:

➤ Fase I: Fiksasi karbon

Siklus calvin menggabungkan setiap molekul CO_2 satu persatu dengan cara melekatkannya gula berkarbon lima yang disebut ribulosa bisfosfat (RuBP). Produk intermediet 6 karbon yang terbentuk, bersifat tidak stabil. Produk tersebut terpecah menjadi dua molekul 3

karbon PGA (Fosfoglisarat).PGA menerima gugus fosfat dari ATP serta hydrogen dan electron dari NADPH. Jadi, dua molekul PGAL (Fosfogli seraldehid) terbentuk.

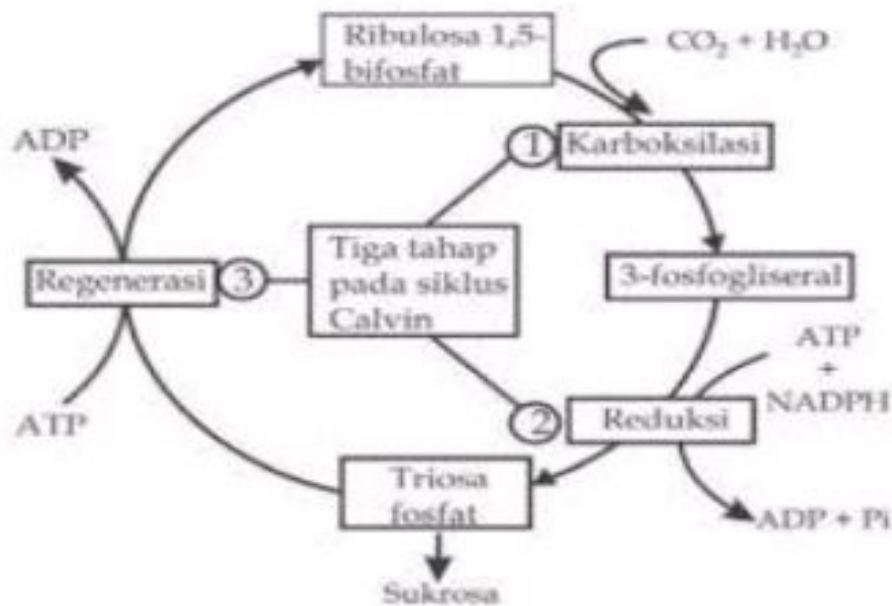
➤ Fase II: reduksi

Glukosa memiliki 6 atom karbon.Untuk membentuk satu molekul glukosa, 6CO₂ harus berikatan dengan molekul RuBP sehingga produk intermediat 12 PGAF terbentuk.2 PGAL bergabung menjadi gula 6 karbon. 10 PGAL yang tersisa bergabung kemudian membentuk 6 RuBP.

➤ Fase III: Regerasi penerima CO₂

Adalah serangkaian reaksi kompleks, rangka karbon lima molekul G3P disusun ulang oleh langkah-langkah terakhir siklus calvin menjadi tiga molekul RuBP. Untuk melakukan hal ini, siklus calvin harus menggunakan tiga molekul ATP lagi. RuBP kini siap menerima CO₂ kembali, dan siklus pun berlanjut.

Tumbuhan dapat menggunakan glukosa yang dibentuknya dalam reaksi yang tidak berlangsung pada cahaya sehingga materi penyusun bagi molekul organik lain atau memecahnya untuk mengambil energy pada ikatannya. Kebanyakan glukosa diubah sewaktu-waktu menjadi sukrosa atau kanji dengan jalur lain yang berakhir dengan reaksi tidak berlangsung pada cahaya. Kelebihan glukosa disimpan berupa butir kanji dalam stroma dikloroplas.Ketika gula dibutuhkan di bagian lain tumbuhan, kanji tersebut terpecah menjadi monomer gula dan ditransfer.



Faktor-Faktor yang mempengaruhi Proses Fotosintesis:

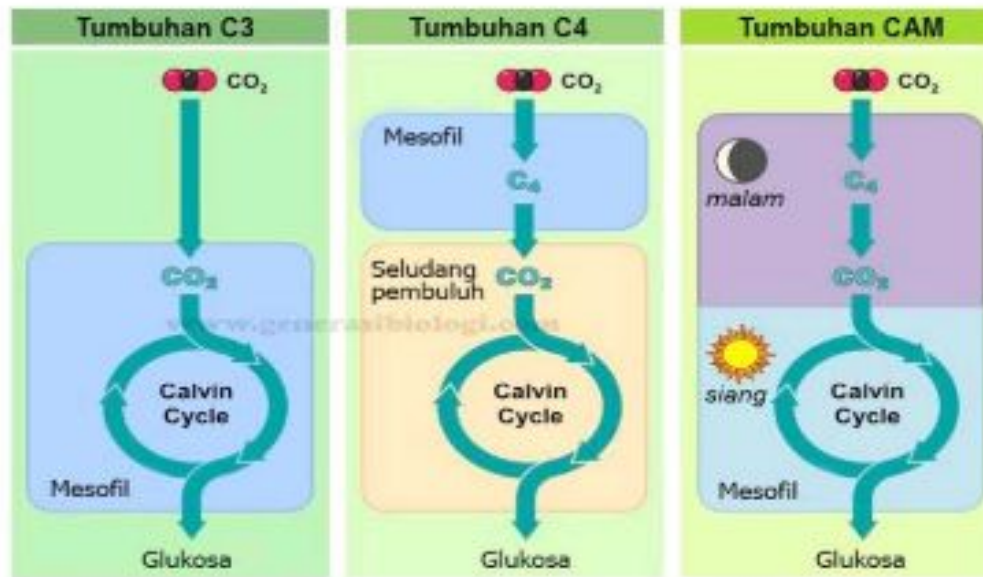
Beberapa faktor yang mempengaruhi proses fotosintesis dibagi menjadi 9 bagian yaitu sebagai berikut:

1. Cahaya. Cahaya merupakan sumber energi untuk proses fotosintesis. Energi cahaya yang diserap oleh tumbuhan tergantung pada intensitas sumber cahaya, panjang gelombang cahaya, dan lamanya penyinaran yang terjadi. Pada batas-batas tertentu, semakin tinggi intensitas cahaya matahari maka semakin banyak energi cahaya yang diserap oleh klorofil, sehingga laju fotosintesis semakin meningkat. Cahaya matahari dengan intensitas terlalu tinggi akan menimbulkan kerusakan pada klorofil.
2. Kadar air. Kekurangan air atau kekeringan dapat menyebabkan stomata atau mulut daun menjadi tertutup, dan dapat menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju proses fotosintesis.
3. Konsentrasi Karbon Dioksida. Laju fotosintesis akan dapat ditingkatkan dengan meningkatkan CO_2 atau karbon dioksida udara. Semakin banyak CO_2 , maka semakin baiklah proses fotosintesis. Namun, kadar karbon dioksida yang terlalu tinggi dapat meracuni atau menyebabkan stomata tertutup, sehingga laju fotosintesis menjadi terhambat. Untuk itu, kenaikan karbondioksida atau CO_2 harus disesuaikan dengan intensitas cahaya. Jika konsentrasi karbondioksida tidak mencukupi laju fotosintesis akan turun. Apabila konsentrasi karbondioksida ditingkatkan pelan-pelan maka laju fotosintesis akan meningkat hingga pada tingkat tertentu.

4. Suhu. Suhu mempengaruhi kerja enzim untuk fotosintesis. Bila suhu naik 10° , kerja enzim meningkat dua kali lipat. Hal ini terjadi pada suhu tertentu, bila suhu terlalu tinggi, justru merusak enzim. Kebanyakan tumbuhan mengadakan fotosintesis dengan baik pada kisaran suhu $10-35^{\circ}$.
5. Oksigen. Kenaikan kadar oksigen dapat menghambat fotosintesis karena oksigen merupakan komponen untuk respirasi. Oksigen akan bersaing dengan karbondioksida untuk mendapat hidrogen.
6. Kandungan Klorofil. Kandungan klorofil dari setiap tumbuhan berbeda-beda. Untuk membedakannya dapat dilihat pada warna daun. Daun yang menguning atau berwarna kekuningan berarti kadar klorofilnya relatif masih sangat kurang. Sebaliknya, jika daun berwarna hijau, maka daun tersebut memiliki kadar klorofil yang relatif tinggi. Jika kekurangan klorofil, maka akan menurunkan laju fotosintesis. Dalam memenuhi kekurangan klorofil, tumbuhan sangat memerlukan sejumlah ion anorganik tertentu untuk membuat pigmen klorofil. Ion itu adalah Mg (Magnesium) dan N (Nitrogen).
7. Kadar Fotosintat (hasil fotosintesis). Jika kadar fotosintat seperti gula berkurang, laju fotosintesis akan naik. Bila kadar fotosintat bertambah atau bahkan sampai jenuh, laju fotosintesis akan berkurang.
8. Tahap Pertumbuhan. Pada saat masih kecambah, tumbuhan lebih rajin fotosintesis daripada yang sudah besar karena yang sedang tumbuh butuh banyak energi untuk tumbuh membesar. Penelitian menunjukkan bahwa laju fotosintesis jauh lebih tinggi pada tumbuhan yang sedang berkecambah ketimbang tumbuhan dewasa.

G. Metabolisme C3, C4, CAM

Fotosintesis pada tumbuhan memiliki bahan yang serupa dengan beberapa mekanisme yang bergantung pada tumbuhannya. Mekanisme fotosintesis ada tiga macam yaitu; pada tumbuhan C3, C4 dan CAM. Perbedaannya adalah pada tahapan reaksi gelap dari fotosintesis, sedangkan reaksi terangnya memiliki reaksi yang sama.



1. Tumbuhan C3

Tanaman C3 merupakan tanaman yang mempunyai siklus atau lintasan calvin yang dapat menghasilkan asam organik yang mengandung 3 atom C dan jaringan yang terlibat dalam proses fotosintesis adalah jaringan mesofil. Siklus atau lintasan itu dimulai dari pengikatan CO₂ dengan RBP dan RuBP.

Tanaman C3 adalah spesies tanaman yang menghasilkan 3 atom C dalam PGA sebagai produk utama awal pembakaran CO₂. Sebagian besar tanaman di bumi merupakan tipe tanaman C3. Contoh tanaman C3 yang paling umum dan banyak ditemui adalah padi, gandum, dan kedelai. Disebut tanaman C3 karena enzim rubisco akan menangkap CO₂ dan menggabungkannya dengan ribulosa bifosfat menjadi 3-fosfoglisarat yang merupakan molekul berkarbon 3. Molekul berkarbon 3 ini selanjutnya akan menjalani serangkaian proses siklus calvin dan melepaskan glukosa sebagai hasilnya.

Tanaman C3 pada siang hari akan menutup sebagian stomata untuk mengurangi penguapan. Hal ini banyak mengakibatkan konsentrasi CO₂ yang ada dalam jaringan akan berkurang dan konsentrasi O₂ dari hasil fotosintesis akan meningkat. Hal ini akan memicu terjadinya fotorespirasi yang kurang menguntungkan bagi tumbuhan. Fotorespirasi akan mengikat O₂ untuk diolah dan menghasilkan CO₂ namun dengan menggunakan ATP

yang justru membuang-buang energi tumbuhan. Tumbuhan C3 rentan mengalami fotorespirasi di siang hari yang panas.

Umumnya tanaman C3 biasanya berada di wilayah dingin dan biasanya dapat berfotosintesis lebih baik dari pada tanaman C4. Tanaman C4 relatif berada pada wilayah di bawah suhu 25 derajat celcius. Tanaman C3 akan mengalami fiksasi CO_2 secara langsung pada siklus atau lintasan calvin. Pada tanaman C3 kloroplas terdapat pada semua sel mesofil, masing-masing berisi enzim fotosintetik yang mengikat sebagian CO_2 yang berdifusi ke dalam daun. Contoh tanaman C3 antara lain adalah padi, kedelai, gandum, kapas, kacang-kacangan, wijen dan lain-lain. Dalam bidang pertanian, tanaman C3 dapat di budidayakan dengan tanaman C4 dengan sistem tumpangsari.

2. Tumbuhan C4

Tumbuhan C4 memiliki kekhususan pada metabolismenya yaitu dinding ikatan pembuluhnya memiliki fungsi ganda untuk mentransfer CO_2 ke dalam sel-sel ikatan pembuluh sekaligus mengakumulasikannya ke daerah-daerah karboksilasi dengan bantuan enzim RuBP-karboksilase. Karena kekhususan metabolisme tersebut maka sifat struktural dan fungsional tumbuhan C4 memungkinkan terjadinya kecepatan penambahan CO_2 yang tinggi dalam sel-sel mesofil pada saat konsentrasi CO_2 udara rendah. Tumbuhan C4 memiliki anatomi daun yang unik yang dikenal dengan anatomi Kranz yaitu ikatan pembuluhnya dikelilingi sel-sel seludang parenkim dan memisahkannya dengan sel-sel mesofil. Terdapat pembagian kerja antara sel-sel mesofil dan sel-sel seludang parenkim pada tumbuhan C4, yaitu terjadi pembentukan asam malat dan aspartat dari CO_2 di sel-sel mesofil dan terjadi daur Calvin di sel-sel seludang parenkim. Tumbuhan yang termasuk kedalam golongan C4 contohnya adalah beberapa spesies Gramineae di daerah tropis termasuk jagung, tebu, dan sorghum.

Tumbuhan C4 dapat menjadi tanaman pionir yang adaptif pada lahan pasiran untuk pertanian, perkebunan atau penghitanan kembali karena tumbuhan C4 dapat hidup dengan baik walaupun tanpa naungan. Tanaman rumput C4 dapat meningkatkan pertumbuhannya dengan penambahan bahan organik dan lebih responsif terhadap bahan organik. Contoh dari rumput C4 adalah Rumput zoysia (Rahayu, dkk., 2014). Tumbuhan C4 lebih adaptif di daerah panas dan kering dibandingkan dengan tumbuhan

C3. Pada tumbuhan C4 tidak terjadi kompetisi antara CO_2 dengan O_2 karena CO_2 diikat oleh PEP dimana enzim tersebut tidak dapat mengikat O_2 .

Tumbuhan dinamakan C4 karena tumbuhan tersebut memulai siklus Calvin dengan mode alternatif fiksasi karbon yang membentuk senyawa karbon 4 sebagai produk pertamanya. Pada tumbuhan C4 ada dua tipe sel fotosintetik yang berbeda yaitu; sel seludang berkas pembuluh dan sel mesofil. Sel seludang berkas pembuluh tersusun menjadi seludang-seludang yang dikemas rapat disekitar urat daun diantara seludang berkas pembuluh dan permukaan daun terdapat sel mesofil yang tersusun lebih longgar.

Tumbuhan C4 memiliki dua tipe sel yang berbeda yaitu sel seludang berkas pembuluh dan sel mesofil. Sel seludang berkas pembuluh tersusun menjadi seludang-seludang yang dikemas rapat di sekitar urat daun. Diantara seludang berkas pembuluh daun permukaan daun terdapat sel mesofil yang tersusun lebih longgar. Siklus calvin hanya berlangsung di kloroplas sel seludang berkas pembuluh. Akan tetapi siklus tersebut didahului oleh penggabungan CO_2 kedalam senyawa organik di dalam sel mesofil.

Langkah-langkah fotosintesis pada tumbuhan C4 ini dimulai dengan cara: Langkah pertama dilakukan oleh sejenis enzim yang hanya terdapat dalam sel mesofil yang disebut PEP karboksilase. Enzim ini menambahkan CO_2 ke fosfoenolpiruvat (PEP), membentuk produk berkarbon empat, oksaloasetat. PEP karboksilase memiliki afinitas yang jauh lebih tinggi terhadap CO_2 dari pada rubisco dan tidak memiliki afinitas terhadap O_2 . Oleh karena itu PEP karboksilase dapat memfiksasi karbon secara efisien ketika rubisco tidak bias yaitu saat hari panas dan kering, dan stomata tertutup sebagian, menyebabkan konsentrasi CO_2 di daun turun dan konsentrasi O_2 naik.

Setelah tumbuhan C4 memfiksasi karbon dari CO_2 , sel mesofil mengeksport produk berkarbon empat yang dihasilkan ke sel seludang berkas pembuluh melalui plasmodesmata. Dalam sel-sel seludang berkas pembuluh, senyawa berkarbon empat ini melepaskan CO_2 , yang diasimilasi kembali kedalam materi organik oleh rubisco dan siklus calvin. Reaksi yang sama meregenerasi piruvat yang ditransfer ke sel mesofil. Disana

ATP digunakan untuk mengubah piruvat menjadi PEP, sehingga siklus reaksi pun dapat berlanjut.

Dengan demikian, sel mesofil tumbuhan C₄ mempompa CO₂ kedalam seludang berkas pembuluh, menjaga konsentrasi CO₂ dalam sel seludang berkas pembuluh cukup tinggi bagi rubisco untuk mengikat CO₂, bukan O₂. Adaptasi yang digunakan tanaman C₄ dapat meminimalkan foto respirasi dan meningkatkan produksi gula.

3. Tumbuhan CAM

Tumbuhan CAM mempunyai karakter mampu hidup pada suhu tinggi (35 sampai dengan 50 derajat) biasanya lingkungan gurun. Contoh tumbuhannya adalah kaktus dan nanas memiliki adaptasi fotosintesis yang berbeda dibandingkan tanaman lain yang berdaun tipis. Tumbuhan CAM, pada kelompok ini penambatan CO₂ seperti pada tanaman C₄, tetapi dilakukan pada malam hari dan dibentuk senyawa dengan gugus 4-C. Pada siang hari pada saat stomata dalam keadaan tertutup terjadi dekarboksilase senyawa C₄ tersebut dan penambatan kembali CO₂ melalui kegiatan Rudp karboksilase. Jadi tumbuhan CAM mempunyai beberapa persamaan dengan kelompok C₄ yaitu dengan adanya dua tingkat sistem penambatan CO₂. Pada C₄ terdapat pemisahan ruang sedangkan pada CAM pemisahannya bersifat sementara. Yang termasuk golongan tumbuhan CAM adalah *Crassulaceae*, *Cactaceae*, *Bromeliaceae*, *Liliaceae*, *Agaveceae*, *Ananas comosus*, dan *Oncidium lanceanum*. Beberapa tumbuhan CAM dapat beralih ke jalur C₃ bila keadaan lingkungan lebih baik.

Beberapa spesies tumbuhan mempunyai sifat yang berbeda dengan kebanyakan tumbuhan lainnya, yakni tumbuhan ini membuka stomatanya pada malam hari dan menutup pada siang hari. Kelompok tumbuhan ini umumnya adalah tumbuhan jenis sukulen yang tumbuh di daerah kering. Dengan menutupnya stomata pada siang hari membantu tumbuhan ini menghemat air, dapat mengurangi laju transpirasinya, sehingga lebih mampu beradaptasi pada daerah kering tersebut. Selama malam hari, ketika stomata tumbuhan itu terbuka, tumbuhan ini mengambil CO₂ dan memasukkannya kedalam berbagai asam organik.

Fotosintesis merupakan cara atau proses tumbuhan dalam menghasilkan energi yang digunakan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Dalam

fotosintesis terjadi perubahan energi cahaya menjadi energi kimia yang tersimpan dalam senyawa organik glukosa (amilum/ karbohidrat). Dalam proses fotosintesis diperlukan Air (H_2O) dari tanah melalui xylem dan CO_2 dari udara lewat stomata pada daun.

Proses fotosintesis tanaman CAM pada dasarnya merupakan kombinasi antara fotosintesis tanaman C-3 dengan fotosintesis tanaman C4. Tanaman CAM (Crassulacean Acid Metabolism) merupakan golongan tanaman yang memiliki daun yang berdaging. Karakteristik fisiologis tanaman CAM adalah melakukan pembukaan stomata pada malam hari untuk menekan adanya transpirasi yang berlebihan pada siang hari. Pembukaan stomata pada malam hari berdampak pada waktu difusi CO_2 yang hanya bisa dilakukan pada malam hari yang juga berpengaruh terhadap fotosintesis yang dilakukan.

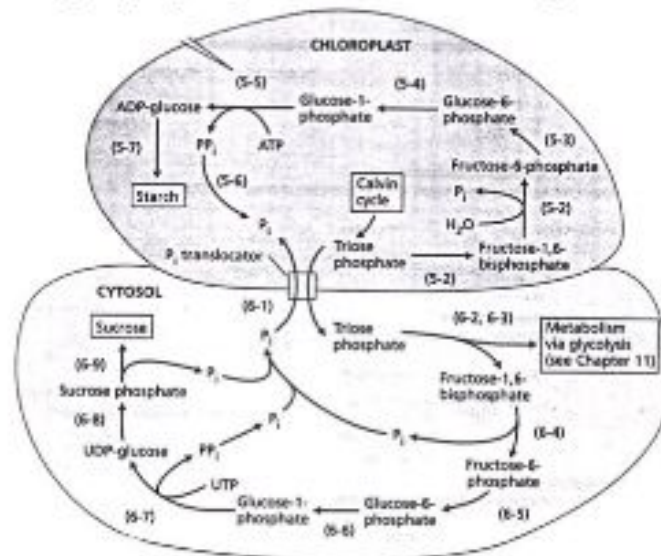
Seperti pada fiksasi karbon tanaman C4, hasil pertama fotosintesis berupa molekul dengan 4 atom karbon yaitu asam oksaloasetat. Tidak seperti tanaman C4 yang fiksasi karbonnya berlangsung di dua tempat (mesofil dan bundle sheet cell), fiksasi karbon CAM berlangsung di dua waktu, siang dan malam.

Pada malam hari, pati-pati diurai dalam respirasi (glikolisis) menjadi PEP. PEP yang terbentuk ini kemudian menangkap CO_2 dari udara dan mengubah CO_2 tersebut menjadi asam oksaloasetat yang memiliki 4 atom C. Oksaloasetat kemudian diubah menjadi malat dengan bantuan enzim malat dehidrogenase dan pereduksi NADH. Malat yang terbentuk kemudian disimpan dalam bentuk asam malat di dalam vakuola. Pada siang hari, saat reaksi terang menyediakan ATP dan NADPH untuk siklus Calvin-Benson, Asam Malat dipecah lagi menjadi CO_2 dan Asam Piruvat yang selanjutnya dijadikan PEP. Dengan terbentuknya CO_2 maka masuklah CO_2 itu ke siklus Calvin-Benson di stroma kloroplas, molekul CO_2 segera di fiksasi oleh RuBP menjadi PGA kemudian dijadikan Triosa dan jadilah produk Karbohidrat.

H. Translokasi Fotosintat

Reduksi karbon merupakan reaksi yang akan menghasilkan rangka karbon untuk pembentukan senyawa-senyawa organik lain, sehingga produk dari reaksi ini diperlukan oleh semua sel penyusun individu tumbuhan. Dengan demikian hasil fotosintesis akan segera ditranslokasi ke sel-sel yang memerlukan dengan

melalui floem. Sukrosa adalah bentuk utama karbohidrat yang ditranslokasikan ke seluruh tubuh tumbuhan, dan amilum adalah bentuk karbohidrat yang tidak larut dan stabil ditempat penyimpanan makanan cadangan.



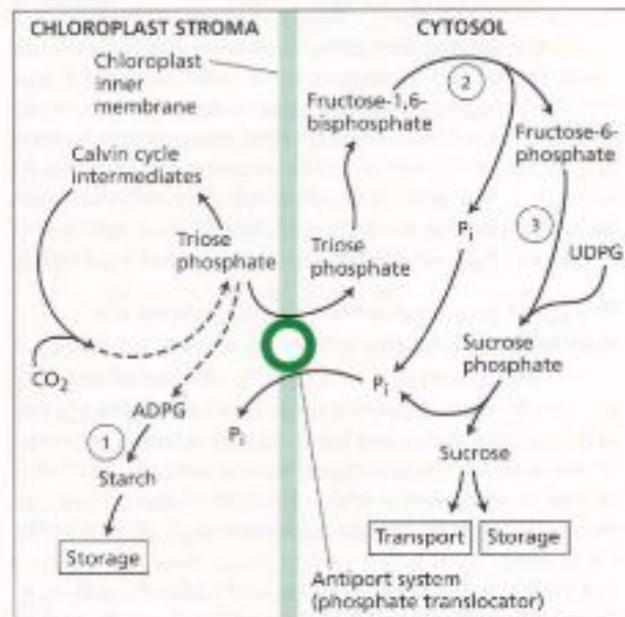
Gambar Skema sintesis amilum dan sukrosa

1. Translokasi di dalam Sel Parenkim

Sintesis sukrosa berlangsung di dalam sitosol, dan sintesis amilum dalam daun didalam kloroplas. Precursor untuk sintesis kedua senyawa ini adalah triose-P, yang dihasilkan dari daur Calvin. Dalam sintesis sukrosa, triose-P berdifusi menuju ke sitosol dan akan diubah menjadi glukosa-P melalui fruktosa 1,6 di-P. selanjutnya dengan menggunakan Uridin Tri Posfat (UTP) molekul glukosa-P diaktifkan menjadi UDP-glukosa untuk dapat bereaksi dengan fruktosa-P menjadi sukrosa. Enzim yang mengkatalisis pembentukan sukrosa ini memerlukan Mg^{2+} sebagai kofaktor sehingga ketersediaan unsure ini di dalam nutrisi tumbuhan sangatlah penting.

Sintesis amilum didalam kloroplas terjadi bila laju fotosintesis melebihi laju respirasi dan laju translokasi dari sel mesofil derta terjadi pada siang hari. Amilum terbentuk dari penambahan secara terus menerus molekul adenosine difosfoglukose (ADPG), yaitu senyawa hasil reaksi antara ATP dengan glukosa-1-P. Reaksi pembentukan amilum ini dikataliser oleh enzim amilum sintetase yang diaktifkan oleh ion K^+ . Inilah sebabnya tanaman yang kekurangan K^+ hanya dapat mengakumulasi gula, bukan

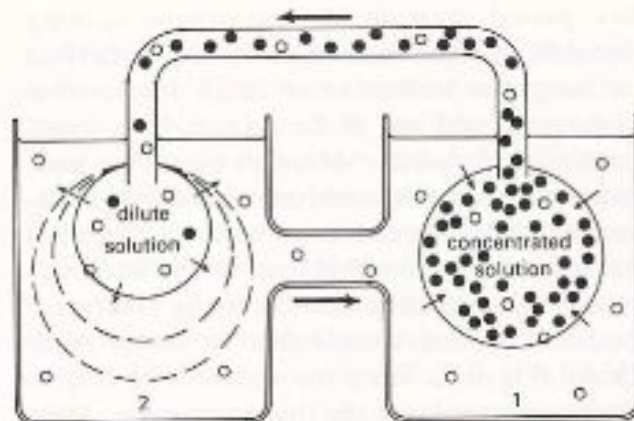
amilum. Pada malam hari amilum yang disimpan didalamkloroplas ini akan keluar dari kloroplas setelah terlebih dahulu di ubah menjadi sukrosa.



Gambar Skema pengangkutan triose fosfat dari kloroplas ke sitoplasma.

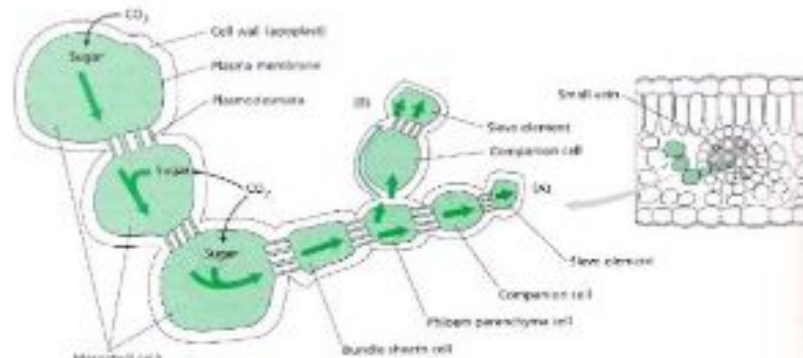
2. Mass Flow Theory

Transport asimilat (fotosintat) menggunakan prinsip Mass Flow Theory dimana molekul akan berpindah dari tempat yang konsentrasinya tinggi ke tempat yang konsentrasinya rendah.



Gambar Skema mass flow teori. Molekul yang berwarna hitam di bola kanan yang konsentrasinya tinggi akan berpindah ke bola kiri yang konsentrasinya rendah

3. Translokasi antar Sel-Sel Parenkim



Gambar Skema pengangkutan fotosintat dari sel-sel mesofil sampai ke sel-sel floem.

4. Source and Sink Theory

Gula yang ditranslokasikan adalah gula yang tidak dalam bentuk tereduksi, dan sukrosa adalah bentuk yang paling banyak dijumpai. Selain sukrosa, juga senyawa gula lainnya yang mengikat sukrosa, seperti : rafinosa, sukrosa yang mengikat 1 mol. galaktosa, stachiosa, sukrosa dengan 2 mol. galaktosa, verbaskosa, dengan 3 mol. galaktosa, dan juga gula alcohol seperti mannitol dan sorbitol. Senyawa-senyawa tersebut akan diangkut ke sel-sel floem dari tulang daun yang terkecil. Pengangkutan ini kebanyakan dilakukan secara simplas, walaupun pada beberapa spesies pengangkutan juga dilakukan secara apoplas, dan merupakan pengangkutan jarak pendek. Dari penelitian yang pernah dilakukan ternyata, pengangkutan sukrosa secara apoplas merupakan pengangkutan aktif yang memerlukan ATP, atau dengan proton simport. Dalam pengangkutan sukrosa secara simplastik, sel-sel mesofil daun yang merupakan sumber dari larutan yang akan ditranslokasikan (*source*) mempunyai konsentrasi yang lebih tinggi daripada komplek sel floem dan sel pendamping (sel intermediet) karena sukrosa yang terakumulasi didalam sel intermediet akan bereaksi dengan galaktosa menjadi raffinosa dan stachiosa. Kedua molekul ini akan diangkut ke sel-sel floem, sehingga walaupun konsentrasi gula didalam sel-sel floem dan sel pendamping

meningkat tetapi karena ukuran molekulnya besar maka gula tersebut tidak dapat diangkut kembali ke sel-sel mesofil.

Pengangkutan di dalam floem merupakan pengangkutan jarak jauh, dan tidak dapat dikatakan sebagai pengangkutan keatas atau kebawah, karena pengangkutan ini dari sel-sel mesofil daun sebagai sumber menuju ke tempat metabolisme atau penyimpanan. Karena pengangkutan ini melalui pembuluh floem, maka "*source*" akan lebih dulu memberikan fotosintat kepada "*sink*" yang mempunyai hubungan langsung dengan pembuluh floem.

Di tempat penimbunan (*sink*), gula yang terdapat di dalam sel-sel floem akan dipindahkan ke sel-sel penerima yang strukturnya sangat bervariasi, mulai dari sel-sel meristem apikal, sel-sel penyimpan makanan cadangan di akar, batang, biji, dan buah. Dalam proses pemindahan dari kompleks sel floem dan sel pendamping ke sel-sel penerima dapat dilakukan secara simplas atau secara apoplas. Komplek sel floem dan sel pendamping dalam hal ini menjadi sumber dan mempunyai konsentrasi gula yang tinggi, sedang sel-sel penerima mempunyai konsentrasi gula yang rendah. Bila sel-sel penerima akan menggunakan fotosintat untuk metabolisme, maka sukrosa segera diubah menjadi glukosa dan fruktosa yang dapat langsung digunakan sebagai substrat respirasi. Bila sel penerima adalah sel penimbun, maka akan terjadi akumulasi sukrosa sehingga transfer secara simplas dapat dibantu dengan transfer secara apoplas untuk mencegah arus balik sukrosa dari sel-sel penerima ke sel-sel floem.

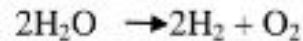
5. Translokasi Fotosintat ke Buah dan Biji

Pengangkutan fotosintat ke buah dan biji dilakukan setelah fertilisasi berlangsung dengan baik. Fotosintat yang diangkut ke bakal buah dan biji berasal dari cadangan makanan yang ada di dalam sel-sel daun.

I. Fotolisis

Selama tahap ini klorofil didalam membran grana menyerap sinar merah dan nilai yang bergelombang panjang pada spectrum sinar. Energy yang ditangkap oleh klorofil digunakan untuk memecah molekul air. Pemecahan ini disebut fotolisis. Fotolisis mengakibatkan molekul air pecah menjadi hidrogen dan oksigen.

Reaksi fotolisis dapat ditulis dengan persamaan :



H₂ yang terlepas kemudian ditampung oleh koenzim NADP. Dalam hal ini, NADP bertindak sebagai akseptor H₂, bentuknya berubah menjadi NADP H₂ dan O₂ tetap dalam keadaan bebas. NADP (Nikotinamida Adenin Dinukleotida Posfat) merupakan koenzim yang penting peranannya dalam kegiatan oksidasi reduksidan banyak terdapat sel hidup. Selama proses tersebut dihasilkan ATP.

J. Integrasi Ayat AL-Qur'an Berkaitan Respirasi

Q.S Al-An'am: 95

إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْخَيْبِ وَالنَّوَى يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَمُخْرِجُ الْمَيِّتِ مِنَ الْحَيِّ ذَلِكُمْ اللَّهُ فَتَأْتِي تَوْفُكُونَ

Artinya: “ Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup. (Yang memiliki sifat-sifat) demikian ialah Allah, maka mengapa kamu masih berpaling” (Qs. Al-An'am : 95).

Q.S Qaaf Ayat: 9

وَنَزَّلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً مُبَارَكًا فَأَنْبَتْنَا بِهِ جَنَّاتٍ وَخَبَّ الْخَصِيدِ

Artinya:”Dan Kami turunkan dari langit air yang banyak manfaatnya lalu Kami tumbuhkan dengan air itu pohon-pohon dan biji-biji tanaman yang diketam” (Qs. Qaaf : 9).

K. Rangkuman

Respirasi adalah proses mobilisasi energi yang dilakukan makhluk hidup melalui pemecahan senyawa berenergi tinggi (SET) untuk digunakan dalam menjalankan fungsi hidup.

Ada beberapa macam factor-faktor yang mempengaruhi respirasi, yaitu Substrat, Temperature, Umur dan tipe jaringan, luka. Glikolisis merupakan proses pengubahan glukosa menjadi dua molekul asam piruvat dengan menghasilkan ATP dan NADH. Siklus Krebs disebut juga sebagai siklus asam

sitrat, yaitu serangkaian reaksi kimia dalam sel pada matriks mitokondria yang berlangsung secara berurutan dan berulang terjadi dan disebut juga siklus asam trikarboksilat.

Trasnpor elektron juga disebut sebagai rantai respirasi atau sistem oksidasi terminal. Molekul yang berperan penting dalam reaksi transpor elektron adalah NADH dan FADH_2 , yang dihasilkan dari reaksi glikolisis, dekarboksilat oksidatif dan siklus Krebs. fotosintesis adalah peristiwa dimana penyusunan zat organik yang terdiri dari air dan karbondioksida dengan bantuan cahaya atau foton matahari.

Proses fotosintesis yang terjadi di kloroplas melalui dua tahap reaksi. Kedua reaksi tersebut diantaranya adalah reaksi terang dan reaksi gelap. Mekanisme fotosintesis ada tiga macam yaitu; pada tumbuhan C_3 , C_4 dan CAM. Perbedaanannya adalah pada tahapan reaksi gelap dari fotosintesis, sedangkan reaksi terangnya memiliki reaksi yang sama.

Fotolisis mengakibatkan molekul air pecah menjadi hidrogen dan oksigen. Integrasi ayat Al-Qur'an berkaitan dengan Respirasi terdapat dalam Q.S Asy-syam Ayat 1-2, Q.S Al-An'am: 95, dan Q.S Qaaf Ayat: 9.

BAB V

NUTRISI TUMBUHAN

A. Pengertian Nutrisi Tumbuhan

Mahluk hidup disusun oleh senyawa-senyawa tertentu yang jika diuraikan terdiri dari (sebagian besartumbuhan): Carbon (C = 43,6 %), Hidrogen (H = 6,2%), Oksigen (O = 44,4%). C dan O didapat tumbuhan dari udara, H didapat tumbuhan dari tanah. C,H,O ditambah unsur lain (N = 1,5 %, K= 1 %) akan membentuk protein, lemak dan bahan organik lain.

Analisis abu dan tehnik kultur abu dahulu digunakan oleh peneliti untuk mengetahui unsur-unsur yang diperlukan tanaman. Tahapan ringkas analisis abu yaitu: tumbuhan dibersihkan, kemudian dikeringkan sampai 100°C hingga air yang terkandung pada tumbuhan telah keluar semuanya. Kemudian bahan tersebut dipanaskan hingga 600-800°C hingga akhirnya hanya tersisa abu keputihan yang mengandung zat anorganik.

Analisis abu digunakan untuk menunjukkan unsur-unsur yang pada umumnya terdapat pada tumbuhan (N akan menguap/lepas dengan perlakuan suhu tinggi). Besarnya kandungan abu, serta komposisi kimianya ditentukan oleh jenis tumbuhan, jenis organ, umur organ serta kecepatan transpirasinya. Abu dari tanaman mengandung 40- 60 elemen yang terdiri dari 14-16 elemen yang benar-benar dibutuhkan tumbuhan:

Makro elemen atau makro nutrien atau unsur hara pokok : C, H, O, N, S, P ,Ca, K, Mg, Fe. Mikro elemen atau mikro nutrien atau unsur hara pelengkap: B, Cu, Mn, Mo, Zn, Cl, dibutuhkan dalam jumlah relatif rendah. Makro dan mikro elemen merupakan elemen esensial dan harus ada pada tumbuhan. Jika salah satu unsur diatas tidak ada maka pertumbuhan dan metabolisme terganggu hingga akhirnya menyebabkan kematian pada tumbuhan tersebut.

Unsur hara tambahan/ unsur benefisial terdiri dari: Na, Al, Si, Au, Sn, Ni atau beberapa ahli mengatakan unsur benefisial terdiri dari: Na, Al, Si, Ba, Ni, Ce, Sn, Ba, Co. Unsur-unsur C, H, O, N merupakan unsur pembangun bahan organik tumbuhan.

Untuk menentukan kriteria apakah elemen tertentu dibutuhkan tumbuhan adalah:

1. Elemen tersebut harus penting bagi pertumbuhan dan reproduksi
2. Elemen tidak dapat digantikan oleh elemen lain.
3. Kebutuhan akan elemen tersebut bersifat langsung, bukan hasil efek tidak langsung.

Berdasarkan pengetahuan tentang analisis abu, kita dapat melakukan penanaman dengan menggunakan media buatan yang mengandung elemen-elemen yang diperlukan tumbuhan dengan menggunakan kultur air (water culture) dan kultur pasir.

B. Kultur Air dan Kultur Pasir

Peneliti - peneliti yang mengemukakan teorinya antara lain :

1. Saussure (1804) dan Uebig (1840) mengemukakan : Tanaman mengambil unsur-unsur dari tanah melalui akar. Hukum minimum Uebig mengatakan: Unsur yang paling sedikit akan menyebabkan tidak terserapnya unsur lain yang berlebihan.
2. Sachs (1860) dan Knop (1865) melakukan penanaman di air atau pasir dengan menambahkan larutan tertentu :

| No | Garam | Sachs (gr/l) | Knop (gr/l) | V. Crone (gr/l) | Hoagland (gr/l) |
|----|--|--------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1 | KNO ₃ | 1 | 0,2 | 1 | 0,51 |
| 2 | MgSO ₄ 7H ₂ O | 0,5 | 0,2 | - | 0,41 |
| 3 | Ca ₃ (PO ₄) ₂ | 0,5 | - | 0,25 | - |
| 4 | CaSO ₄ | 0,5 | - | 0,5 | - |
| 5 | NaCl | 0,25 | - | - | - |
| 6 | FeSO ₄ | Sedikit | - | - | - |
| 7 | Ca(NO ₃) ₄ H ₂ O | - | 0,8 | - | 0,18 |
| 8 | KH ₂ PO ₄ | - | 0,2 | - | 0,14 |
| 9 | FePO ₄ | - | Sedikit | - | - |
| 10 | Fe ₃ (PO) ₂ | - | - | 0,25 | - |
| 11 | MgSO ₄ | - | - | 0,5 | - |
| 12 | Ferritartrat | - | - | - | 0,05 |

3. Vander Crone (1910).
4. Tottingham dan Shive (1914), terkenal dengan teori kestabilan osmotic.
5. Hammer (1940) dan Hoagland (1948).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam kultur buatan adalah:

1. Kemurnian senyawa yang dipakai.
2. Kepekatan masing-masing senyawa yang diberikan.
3. Kemurnian air yang digunakan (aqua bidest atau ion exchange).
4. Adanya kontaminasi dari wadah dan dari udara.
5. Adanya kontaminasi dari biji yang dipakai.
6. Perlunya penggunaan bahan chelating untuk melarutkan ion tertentu.

C. Manfaat Elemen-Elemen (Unsur Hara) Bagi Tumbuhan

Unsur hara makro, mikro maupun unsur tambahan senantiasa dibutuhkan oleh tumbuhan untuk dapat berlangsungnya proses metabolisme di dalam tubuh tumbuhan tersebut. Jika kekurangan pada salah satu unsur/element terjadi hanya sedikit, proses metabolisme masih dapat berlangsung, karena ada unsur-unsur tertentu (bukan hara makro dan mikro) dapat digantikan fungsinya oleh unsur lain misal dalam mengkatalisis proses enzimatis. Namun jika kekurangan unsur tersebut terjadi dalam jumlah besar maka akan menimbulkan gejala dalam berbagai bentuk dan menyebabkan pertumbuhan tumbuhan tersebut menjadi terganggu dan akhirnya tanaman mati.

Dibawah ini disebutkan beberapa unsur menurut fungsi dan jika terjadi kekurangan terhadap unsur tersebut:

1. Nitrogen (N).

Berfungsi dalam pembentukan klorofil, penyusun asam amino, asam nukleat, protein (plasma maupun enzim), hormon dan bahan organik lainnya. Asimilasi N tidak dapat dipisahkan dengan asimilasi C. Jika terjadi kekurangan terhadap unsur ini, maka pembentukan klorofil menjadi terganggu, kandungan protein menurun, pembentukan antosianin menjadi meningkat dan daun berwarna kekuningan dan akhirnya gugur. Tumbuhan mengambil N dalam bentuk NO_3^- atau NH_4^+ , kecuali tanaman Leguminosae yang mampu melakukan fiksasi N langsung dari udara dengan bantuan bakteri pengambat N. Untuk mengatasi kekurangan N dapat dilakukan dengan pemupukan dengan pupuk buatan atau dengan pupuk hijau (menanam tumbuhan penambat N).

2. Posfor (P).

Unsur sangat diperlukan dalam penyusunan membran plasma, asam nukleat, senyawa berenergi (ATP, GTP dll), sintesis Fosfolipida, polisakarida P (pada asimilasi C), Nukleoprotein. Jika kekurangan P maka pertumbuhan menjadi terhambat, daun menjadi hijau tua dan pembentukan antosianin meningkat, diferensiasi jaringan terganggu. Lembaran dan tangkai daun menjadi mati dan akhirnya daun rontok. Tumbuhan mengambil P dalam bentuk H_2PO_4 .

3. Kalium (K).

K hanya sedikit yang terlarut dalam larutan tanah, terutama terdapat sebagai bentuk yang dapat ditukar karena terjerap dipermukaan partikel tanah. Terdapat dalam bentuk garam anorganik pada jaringan yang sedang tumbuh. Penting untuk katalisator dalam perubahan asam amino menjadi protein. Jika terjadi kekurangan K akan menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis dan proses pernapasan menjadi lebih lambat, daun menguning dan pertumbuhan menurun. Jaringan mati di bagian tengah atau tepi daun, batang melemah. Terjadi penurunan kandungan protein sementara kandungan asam amino meningkat.

4. Kalsium (Ca).

Di dalam tanah umumnya berada dalam bentuk $CaCO_3$ yang mudah dilarutkan dengan pemberian CO_2 dalam air. Berguna untuk menguatkan dinding sel karena merupakan komponen penyusun dinding sel dan lamela tengah dalam bentuk Ca-pektat, mengaktifkan pembelahan sel, membantu pengambilan nitrat, mengaktifkan enzim. Jika kekurangan unsur ini akan menyebabkan desintegrasi pada ujung batang dan ujung akar; daun muda menjadi abnormal bentuknya (keriting, nekrosis), tangkai daun lemas, pengambilan Mg menjadi meningkat dan dapat menyebabkan sel tanaman mengalami keracunan. Kekurangan Ca dapat digantikan dengan pupuk Ca, supaya kadar Ca dan Mg menjadi seimbang.

5. Magnesium (Mg).

Mg berguna untuk pembentukan klorofil, berperan dalam transport Fosfat, mempengaruhi proses pernafasan, mengaktifkan enzim transfosforilase, dehidrogenase, karboksilase. Jika kekurangan Mg menyebabkan klorosis, ujung daun menguning.

6. Belerang (S).
Berguna untuk penyusunan asam amino dan pembentukan protein, vitamin (tiamin dan biotin), koenzim A dan minyak atsiri. Diserap dalam bentuk SO_4 dari akar dan SO_2 dari daun. Karena Sulfat adalah asam keras, setelah diserap akan dinetralkan oleh ATP membentuk APS atau PAPS. Gejala yang muncul jika kekurangan S adalah daun menguning.
7. Besi (Fe).
Berperan sebagai katalisator sintesis klorofil (bukan penyusun), sebagai koenzim (pembawa O_2) dalam proses pemapasan. Gejala yang muncul jika kekurangan Fe adalah klorosis (daun menguning).
8. Barium (Ba).
Merupakan mikro elemen penting yang berfungsi pada translokasi gula dan terlibat dalam perkecambahan polen, metabolisme N, keseimbangan redoks dalam sel. Kekurangan Ba menyebabkan penyakit pucuk.
9. Mangan (Mn).
Serupa dengan Fe, berperan mengaktifkan beberapa enzim (dalam pemapasan), katalisator reaksi redoks. Gejala yang muncul jika kekurangan Mn adalah klorosis (daun menguning).
10. Tembaga (Cu).
Merupakan unsur yang sangat penting dalam reaksi redoks, penyusun plastosianin dalam kloroplas, stabilisator klorofil, penyusun enzim oksidase (sitokrom oksidase, polifenol oksidase dll). Gejala yang muncul jika kekurangan Cu adalah ujung daun mengisut.
11. Seng (Zn).
Berperan mengaktifkan beberapa enzim (aktivator enzim karbonik anhidrase yang mengkatalisis reaksi $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, enzim amilum sintetase. Sangat dibutuhkan dalam sintesis triptofan (bahan pembentuk IAA) (Indol Asetat Acid, suatu zat pengatur tumbuh yang sangat berperan dalam pembentukan akar). Kekurangan Zn menyebabkan ujung akar mengalami salah tumbuh dan akhirnya menyebabkan pertumbuhan terhambat.
12. Molybdenum (Mo).
Merupakan unsur yang penting dalam mereduksi nitrat (penyusun enzim nitrat reduktase) untuk membentuk bintil akar. Kekurangan Mo menyebabkan pertumbuhan terhambat.

13. Alumunium (Al).

Banyak berperan dalam mengkatalisis proses metabolisme, namun Al yang berlebihan akan menyebabkan keracunan pada tumbuhan. Keberadaan Al dalam tanah selama ini diketahui sangat terkait dengan pH tanah yang rendah (bersifat masam).

14. Silikon (Si).

Merupakan penyusun tubuh Diatomae, Gramineae.

15. Clor (Cl).

Berperan pada fotosintesis, metabolisme karbohidrat dan mengatur kandungan air sel.

D. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan Nutrisi Tumbuhan

Q. S An-Nahl ayat 10

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ
فِيهِ ثَمِيمٌ ﴿١٠﴾

Artinya: "Dialah, Yang telah menurunkan air hujan dari langit untuk kamu, sebahagiannya menjadi minuman dan sebahagiannya (menyuburkan) tumbuh-tumbuhan, yang pada (tempat tumbuhnya) kamu menggembalakan ternakmu.

E. Rangkuman

Makro elemen atau makro nutrien atau unsur hara pokok : C, H, O, N, S, P, Ca, K, Mg, Fe. Mikro elemen atau mikro nutrien atau unsur hara pelengkap: B, Cu, Mn, Mo, Zn, Cl, dibutuhkan dalam jumlah relatif rendah. Makro dan mikro elemen merupakan elemen esensial dan harus ada pada tumbuhan. Jika salah satu unsur diatas tidak ada maka pertumbuhan dan metabolisme terganggu hingga akhirnya menyebabkan kematian pada tumbuhan tersebut.

Unsur hara tambahan/ unsur benefisial terdiri dari: Na, Al, Si, Au, Sn, Ni atau beberapa ahli mengatakan unsur beneisial terdiri dari: Na, Al, Si, Ba, Ni, Ce, Sn, Ba, Co. Unsur-unsur C, H, O, N merupakan unsur pembangun bahan organik tumbuhan.

Unsur hara makro, mikro maupun unsur tambahan senantiasa dibutuhkan oleh tumbuhan untuk dapat berlangsungnya proses metabolisme di dalam tubuh tumbuhan tersebut. Beberapa unsur menurut fungsi dan jika terjadi kekurangan

terhadap unsur tersebut Nitrogen (N), Posfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Belerang (S), Besi (Fe), Barium (Ba), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Molybdenum (Mo), Alumunium (Al), Silikon (Si), dan Clor (Cl). Integrasi ayat Al-Qur'an berkaitan dengan nutrisi tumbuhan terdapat dalam Q.S An-Nahl ayat 10.

BAB VI

HORMON DAN PENGATUR TUMBUH

A. Defenisi Hormon

Hormon tanaman didefenisikan sebagai senyawa organik bukan nutrisi yang aktif dalam jumlah yang kecil (10^{-6} - 10^{-5} mM) yang disintetiskan pada bagian tertentu dari tanaman dan pada umumnya diangkut ke bagian lain tanaman dimana zat tersebut menimbulkan tanggapan secara biokimia, fisiologis dan morfologis. Zat pengatur tumbuh adalah senyawa organik bukan hara, yang dalam jumlah sedikit (lmM) dapat merangsang, menghambat dan mempengaruhi pola pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Zat pengatur tumbuh ada yang berasal dari tumbuhan itu sendiri (zat pengatur tumbuh endogen) dan bersifat alami dan ada juga yang berasal dari luar tumbuhan tersebut dan disebut sintetis.

Menurut defenisi diatas, harmon tanaman harus memenuhi beberapa syarat berikut, yaitu :

1. Senyawa organik yang dihasilkan oleh tanaman sendiri
2. Harus dapat ditranslokasikan
3. Tempat sintetis dan kerja berbeda
4. Aktif dalam konsentrasi rendah.

Dikenal 5 golongan fitohormon yaitu: auksin, giberelin, sitokinin, asam absisik dan etilen. Fitohormon ini terdapat di dalam tanaman dalam berbagai bentuk, sehingga sulit untuk mengerti cara kerja fitohormon itu dengan cara baik. Selain itu tanaman juga mengandung senyawa-senyawa lain yang turut aktif dalam berbagai proses pertumbuhan dan perkembangan. Senyawa-senyawa itu, antara lain adalah asam polifenolik, vitamin, siklitol dan berbagai senyawa lainnya.

B. Macam-macam Hormon**1. Auksin**

Charles Darwin dan anaknya Francis mulai membuat beberapa percobaan di Inggris yang mendukung pemikiran daripada Sachs. Charles sangat tertarik dalam pergerakan tanaman yang disebut tropisma. Tropisma adalah hasil respons terhadap perangsang yang datang dari luar seperti cahaya (foto-tropisma), gravitasi (geotropisma), sentuhan (tigma tropisma), kimia (chemo-tropisma) dan elektrik (elektro tropisma). Di samping tropisma, Charles juga menyelidiki tentang cara melilit dari tumbuh-tumbuhan yang merambat.

Hasil-hasil studi Darwin diterbitkan pada tahun 1880 di dalam suatu buku yang berjudul "The Power of Movement in Plants". Di dalam studinya mengenai fototropisma Darwin mempergunakan koleoptil dari beberapajenis rumput-rumputan. Bila biji didekambahkan di dalam gelap, koleoptil bertumbuh lurus. Jika ujung koleoptil disinari secara searah, koleoptil itu membengkok kearah datangnya sinar. Jika pangkal koleoptil disinari atau ujung koleoptil diberi tutup yang tidak tembus cahaya lalu disinari, tidak akan terjadi pembengkokan.

Auksin didefinisikan sebagai zat tumbuh yang mendorong elongasi jaringan koleoptil pada percobaan-percobaan bio-assay dengan Avena atau tanaman lainnya. Indole Asetic Acid (IAA) adalah auksin endogen atau auksin yang terdapat pada tanaman. Sitokinin dan auksin merupakan dua golongan zat pengatur tumbuh yang sangat penting dalam budidayajaringan tanaman. Golongan auksin yang lebih sering digunakan adalah 2,4-D, IAA, NAA, IBA. Auksin yang paling efektif untuk menginduksi perbelahan sel dan pembentukan kalus adalah 2,4-D dengan konsentrasi antara 0,2-2 mg/l untuk sebagian jaringan tanaman. NAA dan 2,4 D lebih stabil dibandingkan dengan IAA, yaitu tidak mudah terurai oleh enzim-enzim yang dikeluarkan oleh sel atau karena pemanasan pada saat proses sterilisasi. 1M juga kurang menguntungkan karena cepat rusak oleh cahaya dan oksidasi enzimatis.

a. Pengaruh Fisiologis dari Auksin

IAA dan Auksin lain berperan pada berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Beberapa aspek diuraikan secara singkat sebagai berikut:

- 1) Pembesaran sel. Studi mengenai pertumbuhan koleoptil menunjukkan bahwa IAA dan auksin- auksin yang lain mendorong pembesaran sel terse but. Perpanjangan koleoptil atau batang merupakan hasil dari pembesaran sel tersebut. Penyebaran yang tidak sama dari auksin ini menyebabkan pembesaran sel yang tidak merata dan terjadi pembengkokan dari koleoptil atau organ tanaman (geotropisma dan fototropisma).
- 2) Penghambatan mata tunas samping. Pertumbuhan dari mata tunas samping dihambat oleh IAA yang diproduksi pada meristem apical yang diangkut secara basipetal. Konsentrasi auksin yang tinggi menghambat pertumbuhan mata tunas terse but. Jika sumber auksin ini dihilangkan dengan jalan memotong meristem apical itu maka tunas samping ini akan tumbuh menjadi tunas.
- 3) Absisi (pengguguran daun). Pengguguran daun terjadi sebagai akibat dari proses absisi (proses-proses fisik dan biokimia) yang terjadi di daerah absisi. Daerah absisi adalah kumpulan sel yang terdapat pada pangkal tangkai daun. Proses absisi ada hubungannya dengan IAA pada sel-sel di daerah absisi.
- 4) Aktivitas daripada cambium. Pertumbuhan sekunder termasuk pembelahan sel- sel di daerah kambium dan pembentukan jaringan xylem dan floem dipengaruhi oleh IAA. Pembelahan sel-sel di daerah kambium dirangsang oleh IAA.
- 5) Pertumbuhan akar. Selang konsentrasi auksin untuk pembesaran sel-sel pada batang, menjadi penghambat pada pembesaran sel-sel akar. Selang konsentrasi yang mendorong pembesaran sel-sel pada akar adalah sangat rendah. Semua efek ini dibahas seakan-akan IAA sebagai satu-satunya fitohormon yang mempengaruhi proses-proses terse but. Sekarang telah diketahui bahwa IAA berinteraksi dengan fitohormon yang lain seperti giberelin, sitokinin, etilen dan ABA di dalam mempengaruhi berbagai proses - proses fisiologis.

b. Ikatan Indol lainnya

Tumbuhan mengandung beberapa macam senyawa-senyawa indol lainnya selain asam indol asetat. Senyawa indol tersebut berupa hasil antara dari biosintesis IAA, hasil katabolisme IAA, bentuk-bentuk cadangan dari IAA dan bentuk IAA yang ditranslokasikan.

c. Auksin Tanaman Bukan Indol

Walaupun auksin bentuk indol yang umumnya terdapat di dalam tanaman, ada beberapa tanaman mempunyai auksin bukan senyawa indol seperti asam fenil asetat yang mempunyai peranan serupa dengan asam indol asetat. Dengan teknik analisa yang lebih baik, auksin bukan senyawa indol akan dapat ditemukan pada tanaman-tanaman lainnya.

d. Auksin Sintetik

Setelah diketemukan IAA sebagai salah satu fitohormon yang penting, maka disintesis senyawa-senyawa serupa dan diuji keaktifan biologis dari senyawa-senyawa tersebut. Golongan-golongan senyawa sintetik yang pertama dibuat adalah substitusi-substitusi indol seperti propionate dan asam indol butirir. Keduanya mempunyai keaktifan biologis dan dipergunakan sebagai hormon akar, untuk mendorong pembentukan akar pada stek. Keduanya mempunyai ciri-ciri indol dan gugus karboksilat pada rantai samping. Perbedaannya terletak pada panjang rantai samping. Jika rantai samping itu lebih panjang dari butirir senyawa-senyawa tersebut kehilangan aktivitas biologisnya.

Ratusan senyawa-senyawa lain telah disintesis dan diuji aktivitas auksinnya. Hanya beberapa senyawa saja yang mempunyai aktivitas biologis. Apa yang paling perlu untuk suatu senyawa mempunyai aktivitas auksin. Jika dilihat senyawa-senyawa tersebut mempunyai ukuran dan bentuk yang sama. Selanjutnya senyawa-senyawa tersebut mempunyai struktur elektron yang serupa, dimana bagian tertentu lebih elektro negatif daripada bagian yang lain. Sifat-sifat di atas itu penting bagi senyawa-senyawa tersebut untuk mengatur molekulnya pada tempat tertentu di dalam sel.

Selain hal-hal tersebut di atas faktor - faktor lain yang mempengaruhi aktivitas dari auksin sintetik adalah :

- a. Kesanggupan senyawa tersebut untuk dapat menembus lapisan kutikula atau epidermis yang berlilin.

- b. Sifat translokasi di dalam tanaman.
- c. Pengubahan auksin menjadi senyawa yang tidak aktif di dalam tanaman (destruksi atau pengikatan).
- d. Berinteraksi dengan hormon tumbuh lainnya.
- e. Spesies tanaman.
- f. Fase pertumbuhan.
- g. Ungkungan (suhu, radiasi dan kelembaban).

2. Giberelin

Zat pengatur tumbuh (ZPT) lain yang sering ditambahkan kedalam medium adalah Giberellin, ZPT yang dalam bentuk larutan pada temperatur tinggi mudah kehilangan sifatnya sebagai ZPT. Giberellin (asam Giberellate) dalam dosis tinggi menyebabkan gigantisme, sesuai dari penemuan awal yang menunjukkan bahwa ZPT ini berefek meningkatkan pertumbuhan sampai beberapa kali. Giberellin berpengaruh terhadap pembesaran dan pembelahan sel, pengaruh Giberellin ini mirip dengan auksin yaitu antara lain pada pembentukan akar. Giberellin dapat menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah auksin endogen.

Giberelin yang umumnya tersedia di pasaran adalah GA_3 dan giberelin ini yang banyak dipergunakan pada penelitian- penelitian fisiologi tumbuhan. Di dalam diskusi giberelin atau GA dipakai untuk giberelin yang telah diketahui struktur kimianya (GA_1 , G_3 , G_7 dan seterusnya) sedangkan zat - zat yang aktivitas biologisnya seperti GA tetapi belum diketahui struktur kimianya disebut gibberellin like compounds (GAL)

a. Giberelin pada Tumbuhan Berhijau Daun

Dengan dikembangkannya cara - cara analisis yang baru didapat bahwa ekstrak dari kebanyakan tumbuhan mempunyai aktivitas GAL. Studi selanjutnya menunjukkan bahwa tumbuh - tumbuhan yang berhijau daun mengandung jenis-jenis GA yang serupa dengan GA yang diisolasi dari *Gibberella fujikuroi* maupun beberapa jenis GA yang baru.

Pada saat ini telah diketahui lebih dari 50 GA dan lebih dari 40 GA yang terdapat pada tumbuhan. GA yang paling umum adalah GA , G_{3-8} , dan GA_{17-20} dan yang lain hanya terdapat pada spesies tumbuhan tertentu. Jadi GA bukan saja hasil metabolisme dari cendawan dengan pengaruh fisiologis yang menarik pada tumbuh-tumbuhan, tetapi juga merupakan zat pengatur tumbuh yang endogen. GA ini terdapat pada

berbagai organ dan jaringan tumbuhan seperti akar, tunas, mata tunas, daun, bunga, bintil akar, buah dan jaringan kalus.

b. Pengaruh Fisiologis dari Giberelin

Kebanyakan tanaman berespons terhadap pemberian GA dengan pertambahan panjang batang. Pengaruh GA terutama di dalam perpanjangan ruas tanaman yang disebabkan oleh bertambah besar dan jumlah sel – sel pada ruas - ruas tersebut. Brian dan Hemming melihat bahwa GA mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap tanaman yang normal dan tanaman yang kate. Bila tanaman kapri dari kultivar yang kate disemprot dengan GA maka terjadi perpanjangan batang dan tinggi tanaman tersebut serupa dengan tanaman yang normal. Sebaliknya jika tanaman dari kultivar yang normal diberi GA, maka tanaman tersebut tidak berespons. Ada kurang lebih 20 kultivar jagung kate (sifat genetik) diberi perlakuan GA. Sebagian dari kultivar-kultivar tersebut berespons terhadap pemberian GA dan sebagian tidak. Mungkin jagung-jagung kate yang berespons, kekurangan GA endogen dan yang tidak berespons mempunyai proses biokimia yang lain untuk sifat kate yang tidak ada kaitannya dengan kandungan GA endogen.

Selain perpanjangan batang, giberelin juga memperbesar luas daun dari berbagai jenis tanaman, jika disemprot dengan GA. Demikian juga terhadap besar bunga dan buah. Besar bunga dari tanaman *Camelia* dan *Geranium* akan bertambah jika diberi GA eksogen. Ukuran buah dari beberapa tanaman buah-buahan seperti anggur akan bertambah besar jika diberi GA. Giberelin juga mendorong pembentukan buah partenokarpi (tanpa biji) pada buah anggur dan pada buah - buahan lainnya.

Di samping mempengaruhi besarnya organ tanaman, GA juga mempengaruhi proses - proses fisiologis lainnya. Kebanyakan tanaman memerlukan suhu dingin (2° sampai 4°C) selama periode waktu tertentu diikuti hari panjang untuk dapat berbunga. Pada tanaman - tanaman tersebut suhu dingin menyebabkan terjadinya "halting" (perpanjangan batang) yang mengawali proses pembungaan tersebut. GA dapat mengganti pengaruh suhu dingin pada tanaman-tanaman tersebut dan dapat mendorong terjadinya pembungaan.

Telah diselidiki juga bahwa proses dormansi dari beberapa biji dan mata tunas dapat dihilangkan dengan pemberian GA. Pada biji - biji

tersebut perkecambahan dapat diawali dengan naiknya kadar GA endogen biji. Pada biji-biji tersebut dormansi disebabkan oleh rendahnya kadar GA endogen, sehingga dormansi dapat diatasi dengan pemberian GA eksogen. Mekanisme yang serupa juga terdapat pada mata tunas tidur (dorman). Pada proses pembelahan sel dan pembesaran sel bukan saja dipengaruhi oleh GA tetapi juga oleh auksin. Perbedaan antara giberelin dan auksin dalam proses tersebut adalah bahwa GA lebih efektif pada tanaman yang utuh sedangkan auksin pada potongan-potongan organ tanaman seperti pada stek akar, stek tunas, dan lain-lain.

3. Sitokinin

Sitokinin berperan penting dalam pengaturan pembelahan sel dan morfogenesis. Sitokinin yang pertama sekali ditemukan adalah kinetin. Kinetin bersama-sama dengan auksin memberikan pengaruh interaksi terhadap diferensiasi jaringan. Pada pemberian auksin dengan konsentrasi relatif tinggi, diferensiasi kalus cenderung ke arah pembentukan primordia akar, sedangkan pada pemberian kinetin yang relatif tinggi, diferensiasi kalus cenderung ke arah pembentukan primordia batang atau tunas.

E. Skoog dan C.O. Miller menemukan sesuatu zat yang dapat merangsang pembelahan sel pada penelitian mereka. Skoog dan Miller meneliti senyawa-senyawa pada media kultur jaringan yang dapat menumbuhkan kalus yang berasal dari empulur tembakau. Media dasar terdiri dari hara tanaman, sukrosa, vitamin dan glisin. Pada media dasar ini kalus tumbuh sangat lambat, tetapi pertumbuhan ini dapat dipercepat kalau ditambah zat-zat ekstra. Media dasar ditambah IAA hanya mendorong pertumbuhan kalus dalam waktu yang singkat saja. Media dasar ditambahkan dengan air kelapa, ekstrak ragi dan IAA sangat mendorong pertumbuhan kalus dalam waktu yang lama. Asam nukleat terutama RNA ternyata kaya akan zat-zat yang mendorong pertumbuhan kalus tersebut. Di dalam penelitian selanjutnya zat yang aktif itu dapat diisolasi dan diidentifikasi kemudian dibuat secara sintetik. Zat tersebut diberi nama kinetin, karena menyebabkan proses pembelahan sel (sitokinesis).

Kinetin adalah N⁶-furfuril adenine suatu turunan dari basa adenine. Senyawa sintetik yang mempunyai struktur yang serupa dengan kinetin juga dapat mendorong pembelahan sel-sel kalus tembakau tersebut. Ahli-ahli fisiologi tumbuhan memberi nama sitokinin yang menggambarkan

fungsinya dalam pembelahan sel (sitokinesis). Kinetin bel urn pemah diisolasi dari jaringan-jaringan tanaman, tetapi dari hasil-hasil khromatografi ekstrak tanaman diduga kinetin juga terdapat dalam tanaman dalam konsentrasi yang rendah.

a. Efek Fisiologis dari Sitokinin

Sitokinin mempengaruhi berbagai proses fisiologis di dalam tanaman. Aktivitas yang terutama ialah mendorong pembelahan sel dan aktivitas ini yang menjadi kriteria utama untuk menggolongkan suatu zat ke dalam sitokinin. Akan tetapi proses-proses pembelahan sel pada sel-sel meristem akan dihambat oleh pemberian sitokinin eksogen. Baik efek yang menghambat maupun efek yang mendorong proses pembelahan sel oleh sitokinin tergantung oleh adanya fitohormon lainnya terutama auksin. Tidak diketahui perbandingan sitokinin dan auksin yang bagaimana yang merangsang atau menghambat proses pembelahan sel.

Sitokinin juga berpengaruh di dalam perkembangan embrio. Air kelapa (coconut milk) telah lama diketahui sebagai sumber yang kaya akan zat-zat aktif yang diperlukan untuk perkembangan embrio. Di antara zat-zat yang aktif terdapat sitokinin endogen. Pada air kelapa ini dapat dilihat suatu interaksi antara sitokinin dengan fitohormon lainnya di dalam proses perkembangan embrio itu.

Sitokinin memperlambat proses penghancuran butir-butir khlorofil pada daun-daun yang terlepas dari tanaman (detached leave) dan memperlambat proses senescence pada daun, buah dan organ-organ lainnya. Pengaruh sitokinin pada berbagai proses itu semua diduga pada tingkat pembuatan protein, mengingat kesamaan struktur sitokinin dengan adenine yang merupakan komponen dari DNA dan RNA.

b. Sitokinin Sintetik

Didapat sejumlah senyawa - senyawa substitusi adenine yang mempunyai aktivitas seperti sitokinin didalam pertumbuhan kalus tembakau. 6-Benzil adenine (BA) mempunyai struktur yang serupa dengan kintin. BA ini sangat aktif dalam mendorong pertumbuhan kalus tembakau. Bentuk isomernya 1 - benzil adenine mempunyai aktivitas kimia yang rendah. Untuk dapat aktif 1 - benzil adenine harus diubah menjadi 6 - benzil adenine.

4. Etilen

Efek fisiologis telah diketahui sejak 75 tahun yang lalu. Etilen adalah suatu gas dari pembakaran gas yang tidak sempurna dari senyawa-senyawa yang kaya akan ikatan karbon seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam. Merupakan komponen dari asap-asap yang dikeluarkan oleh kendaraan-kendaraan bermotor dan industri-industri yang mempergunakan bahan bakar gas. Segera setelah diperkenalkan "illuminating gas" untuk penerangan rumah dan jalan-jalan raya, maka terlihat gejala-gejala kerusakan etilen pada tumbuhan-tumbuhan di sekitar tempat-tempat penerangan tersebut. Gejala-gejala itu antara lain, keguguran daun, keriting daun, hilangnya warna tajuk bunga, pembengkakan batang, penghambatan elongasi dan penghambatan pertumbuhan akar.

Setelah ditelusuri ternyata penyebab gejala-gejala tersebut adalah etilen. Selanjutnya juga diketahui bahwa tanaman sendiri memproduksi etilen melalui proses metabolisme selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman tersebut. Buah yang dalam proses pematangan memproduksi etilen dalam jumlah sangat tinggi. Selain itu etilen juga diproduksi pada jaringan-jaringan dan organ tanaman lainnya seperti bunga, daun, batang, akar, umbi dan biji. Jumlah yang normal dalam jaringan tanaman adalah rendah biasanya kurang dari 0,1 ppm.

a. Efek Fisiologi dari Etilen

Telah diketahui bahwa etilen menjadi penyebab beberapa respons tanaman seperti pengguguran daun, pembengkakan batang, pematangan buah dan hilangnya warna buah. Etilen menghambat pertumbuhan ke arah memanjang (longitudinal) dan mendorong pertumbuhan ke arah melintang (transversal) sehingga batang kecambah terlihat membengkok. Etilen juga merubah respons geotropisma, mendorong pengguguran daun, bunga dan buah. Respons geotropisma bukan saja dipengaruhi oleh etilen tetapi juga oleh auksin, demikian juga dengan proses penuaan (senescence). Etilen sangat berperan dalam aspek-aspek praktis penyimpanan buah-buahan. Pada kebanyakan buah (pisang, jeruk dan lain-lain) etilen mendorong proses pematangan buah.

5. Asam Absisik

Pada tahun 1955 Osborn mendapatkan bahwa daun yang gugur mengandung senyawa-senyawa organik yang mempercepat pengguguran

daun yang sifat-sifatnya berbeda dari IAA dan fitohormon lainnya (sitokinin dan giberelin). Carns, Addicott dan kawan-kawan mengisolasi beberapa senyawa organik yang mempercepat absisi dari tanaman kapas, yang mereka beri nama absisin I dan II. Bila dormin diberikan pada daun pohon-pohonan yang sedang tumbuh aktif (flush) maka akan terjadi dormansi mata tunas. Kelompok peneliti lain mengisolasi suatu zat dari tanaman lupin (*Lupinus luteus*) yang dapat menggugurkan buah lupin. Akhirnya diketahui bahwa dormin dan zat yang mempercepat keguguran buah pada lupin adalah identik dengan absisik II.

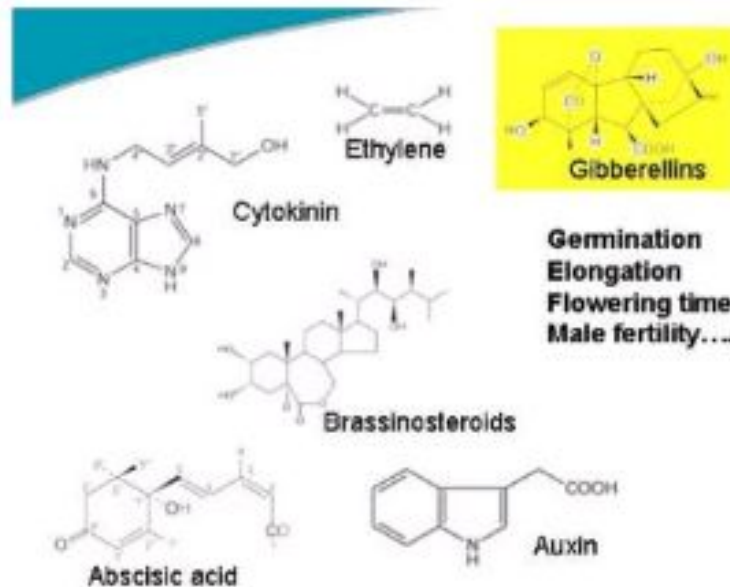
Pada tahun 1967 diputuskan bahwa absisik II/dormin untuk selanjutnya diberi nama asam absisik (ABA). Pengaruh Fisiologis dari ABA Peranan ABA sangat nyata dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. ABA berinteraksi dengan zat-zat pengatur tumbuh tanaman yang lain pada proses tersebut, biasanya interaksi ini bersifat menghambat (antagonisma).

Pada kebanyakan hal, sifat menghambat ABA dapat diatasi dengan pemberian lebih banyak zat-zat tumbuh tersebut. Sebagai contoh, pengaruh IAA dalam mendorong pembengkakan koleptil *Avena* dihambat oleh ABA. Jika lebih banyak IAA diberi lagi, maka pengaruh ABA ini dapat dihilangkan.

Penghambat ABA terhadap perkecambahan biji selada tidak dapat diatasi dengan pemberian IAA, di sini diperlukan zat tumbuh lain dari pada IAA (asam giberelat dan sitokinin). Sangat menarik adalah interaksi antara ABA dan GA. GA mendorong pembentukan enzim amylase dan enzim-enzim hidrolisis lainnya pada lapisan aleuron dari biji barley. ABA menghambat pembentukan enzim-enzim tersebut. Dengan pemberian lebih banyak GA sifat-sifat penghambatan ABA ini dapat diiadakan.

Pada proses pematangan biji-biji dari kebanyakan tanaman biasanya terjadi penimbunan ABA yang menyebabkan terjadi dorminasi dari biji tersebut. Pada biji-biji tanaman yang memerlukan "stratifikasi" (suhu rendah dan basah) untuk mendorong proses perkecambahan keadaan ABA dan GA dapat diikuti selama proses tersebut. Selama proses tersebut konsentrasi ABA dalam biji menurun sebaliknya konsentrasi GA meningkat. Demikian juga pada mata tunas. Pada awal masa dormansi kandungan ABA tinggi dan GA rendah. Pada keadaan "stress" fisik maupun kimia kandungan ABA itu meningkat dan segera turun kembali

setelah hilangnya "stress". Pada keadaan "stress" air daun kehilangan turgor dan layu, kandungan ABA meningkat dan stomata menutup. Jika tanaman diairi, turgor daun menjadi normal kembali dan konsentrasi ABA menurun. Di sini terlihat bahwa ABA terbentuk di dalam daun pada waktu "stress" dan diuraikan dan diinaktifkan sesudah tidak ada "stress" lagi.



Gambar Struktur molekul dari hormon tumbuh seperti auksin, giberelin, sitokinin, gas etilen, asam absisat.

C. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan dengan Hormon

QS. Ar-Ruum : 54

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَكُمْ مِنْ ضَعْفٍ ثُمَّ جَعَلَ مِنْ بَعْدِ ضَعْفٍ قُوَّةً ثُمَّ
 جَعَلَ مِنْ بَعْدِ قُوَّةٍ ضَعْفًا وَشَيْبَةً يَخْلُقُ مَا يَشَاءُ وَهُوَ الْعَلِيمُ
 الْقَدِيرُ

Artinya:

“Allah, Dialah yang menciptakan kamu dari keadaan lemah, kemudian Dia menjadikan (kamu) sesudah keadaan lemah itu menjadi kuat; kemudian Dia menjadikan (kamu) sesudah kuat itu lemah (kembali) dan beruban. Dia

menciptakan apa yang dikehendaki-Nya dan Dialah Yang Maha Mengetahui lagi Maha Kuasa.”

Ayat ini menerangkan tentang hakikat perkembangan makhluk hidup. Dimana saat baru tumbuh, tumbuhan adalah makhluk yang sangat lemah yang harus dirawat hingga dapat tumbuh subur. Seiring bertambahnya usia, jaringan, hormon dan sel-sel pun akhirnya mulai bertambah, sehingga akhirnya kita menjadi makhluk dewasa yang kuat. Namun setelahnya, akhirnya manusia akan mengalami dimensia, atau degenerasi sel-sel yang membuat manusia menjadi makhluk yang lemah kembali.

D. Rangkuman

Hormon tanaman didefinisikan sebagai senyawa organik bukan nutrisi yang aktif dalam jumlah yang kecil (10^{-6} - 10^{-5} mM) yang disintetiskan pada bagian tertentu dari tanaman dan pada umumnya diangkut ke bagian lain tanaman dimana zat tersebut menimbulkan tanggapan secara biokimia, fisiologis dan morfologis.

Dikenal 5 golongan fitohormon yaitu: auksin, giberelin, sitokinin, asam absisik dan etilen. Fitohormon ini terdapat di dalam tanaman dalam berbagai bentuk, sehingga sulit untuk mengerti cara kerja fitohormon itu dengan cara baik. Selain itu tanaman juga mengandung senyawa-senyawa lain yang turut aktif dalam berbagai proses pertumbuhan dan perkembangan. Senyawa-senyawa itu, antara lain adalah asam polifenolik, vitamin, siklitol dan berbagai senyawa lainnya.

Pengaruh Fisiologis dari Auksin, yaitu Pembesaran sel, Penghambatan mata tunas samping, Absisi (pengguguran daun), Aktivitas daripada cambium, Pertumbuhan akar. Giberelin, Giberellin dapat menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah auksin endogen, perpanjangan batang, giberelin juga memperbesar luas daun dari berbagai jenis tanaman, jika disemprot dengan GA. Sitokinin berperan penting dalam pengaturan pembelahan sel dan morfogenesis. Etilen menghambat pertumbuhan ke arah memanjang (longitudinal) dan mendorong pertumbuhan ke arah melintang (transversal) sehingga batang kecambah terlihat membengkak. Sedangkan Asam Absisat membantu proses pematangan biji – biji yang menyebabkan terjadi dorminasi dari biji tersebut. Integrasi ayat Al-Qur'an berkaitan dengan hormone pada tumbuhan terdapat dalam Q. S A-Ruum ayat 45.

BAB VII

GERAK PADA TUMBUHAN

A. Pengertian Gerak Pada Tumbuhan

Tumbuhan tidak mempunyai organ khusus sebagai penerima rangsang atau reseptor. Gerakan pada tumbuhan relatif tidak terlihat, gerakan tumbuhan hanya dilakukan oleh sebagian tubuh tumbuhan dan tidak seluruhnya, tetapi hal itu juga termasuk gerak. Gerak tumbuhan begitu perlahan lahan sehingga kadang kadang tidak terlihat oleh mata biasa. Sepintas lalu terlihat janggal kalau dikatakan bahwa tanaman itu bergerak, namun nyatanya demikian.

Kemampuan bergerak ini adalah salah satu ciri ciri makhluk hidup disamping ciri yang lain seperti: pertumbuhan, reproduksi, metabolisme, dan lain-lain. Banyak tanaman rendah, terutama yang bersel satu dapat bergerak dalam arti kata berpindah pindah tempat. Banyak bakteri, alga bersel satu, spermatozoid bangsa lumut dan paku dapat bergerak dengan bebasnya, seakan akan mereka itu hewan hewan gesit. Gerak tanaman rendah semacam itu sering disebut gerak lokomotoris (gerak pindah tempat).

Lain halnya dengan gerakan yang dilakukan oleh tumbuhan tinggi karena tidak dapat melakukan pergerakan pindah tempat seluruh tubuhnya. Oleh karena itu mungkin hanya berupa pembengkokan bagian tanaman, pembelitan, getaran, dan lain lain.

B. Jenis-jenis Gerak pada Tumbuhan

Beberapa gerak yang dilakukan oleh tumbuhan, dihasilkan sebagai respon tumbuhan terhadap sejumlah rangsangan dari luar atau dari lingkungannya. Gerak pada tumbuhan paling banyak berorientasi pada cahaya dan gravitasi.

Berdasarkan atas penyebab timbulnya gerak, dapat dibedakan antara gerak tumbuh dan gerak turgor. Gerak tumbuh adalah gerak yang ditimbulkan oleh adanya pertumbuhan, sehingga menimbulkan perubahan elastis atau "irreversible". Gerak turgor adalah gerak yang timbul karena terjadi perubahan turgor pada sel-sel tertentu, dan sifatnya elastis atau "reversible".

Berdasarkan arah rangsangannya, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi tiga, yaitu: gerak Hygroskopis, gerak etionom, dan gerak endonom (autonom). Gerak Hygroskopis disebabkan oleh perbedaan kadar air. Gerak etionom merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari luar. Sedangkan gerak endonom (autonom) merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari dalam atau dari tumbuhan itu sendiri.

1. Gerak Higroskopis

Gerakan ini disebabkan oleh perbedaan kadar air. Sel-sel tumbuhan mempunyai kemampuan yang tidak sama dalam menerima dan melepaskan airnya. Jika lingkungan dalam keadaan kering, sel-sel yang lebih cepat melepaskan air akan berkerut, sementara sel-sel yang lainnya relatif tetap. Akibatnya, akan terjadi tarik menarik antara bagian yang kekurangan air dan bagian yang normal. Kekuatan tarik menarik ini akan menentukan arah gerak tumbuhan.

2. Gerak Etionom

Berdasarkan hubungan antara arah respon gerakan dengan asal rangsangan, gerak etionom dapat dibedakan menjadi: gerak tropisme, gerak nasti dan gerak taksis.

a. Gerak Tropisme

Tropisme adalah gerak bagian tumbuhan yang arah geraknya dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan. Bagian yang bergerak itu misalnya cabang, daun, kuncup bunga atau sulur. Gerak tropisme dapat dibedakan menjadi tropisme positif apabila gerak itu menuju sumber rangsangan dan tropisme negatif apabila gerak itu menjauhi sumber rangsangan. Ditinjau dari macam sumber rangsangannya, tropisme dapat dibedakan lagi menjadi fototropisme, geotropisme, hidrotropisme, kemotropisme, tigmotropisme dan gravitropisme.

- 1) Fototropisme. Fototropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan cahaya. Gerak bagian tumbuhan yang menuju ke arah cahaya disebut fototropisme positif. Misalnya gerak ujung batang tumbuhan membelok ke arah datangnya cahaya. Cahaya yang paling efektif dalam merangsang fototropisme adalah cahaya gelombang pendek, sedangkan cahaya merah tidak efektif. Diduga respon fototropis ini ada kaitannya dengan karoten dan riboflavin, karena

kombinasi penyerapan spectrum oleh karoten dan riboflavin mirip dengan pola kerja spektrum terhadap fototropisme.

- 2) Geotropisme. Geotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena pengaruh gravitasi bumi. Jika arah geraknya menuju rangsang disebut geotropisme positif, misalnya gerakan akar menuju tanah. Jika arah geraknya menjauhi rangsang disebut geotropisme negatif, misalnya gerak tumbuh batang menjauhi tanah. Akar selalu tumbuh ke arah bawah akibat rangsangan gaya tarik bumi (gaya gravitasi). Gerak tumbuh akar ini merupakan contoh lain dari gerak tropisme. Gerak yang disebabkan rangsangan gaya gravitasi disebut geotropisme. Karena gerak akar diakibatkan oleh rangsangan gaya tarik bumi (gravitasi) dan arah gerak menuju arah datangnya rangsangan, maka gerak tumbuh akar disebut geotropisme positif. Sebaliknya gerak organ tumbuhan lain yang menjauhi pusat bumi disebut geotropisme negatif. Contoh lain dari geotropisme adalah gerak tumbuh pada bunga kacang. Pada waktu bunga mekar geraknya menjauhi pusat bumi, maka termasuk geotropisme negatif. Tetapi setelah terjadi pembuahan, gerak bunga kemudian ke bawah menuju tanah ke pusat bumi dan berkembang terus menjadi buah kacang tanah. Dengan demikian, terjadi perubahan gerak tumbuh pada bunga kacang tanah. Sebelum pembuahan adalah geotropisme negatif dan setelah pembuahan adalah geotropisme positif. Pertumbuhan bunga ini dipengaruhi oleh peranan hormon pertumbuhan.
- 3) Hidrotropisme. Hidrotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan air. Jika gerakan itu mendekati air maka disebut hidrotropisme positif. Misalnya, akar tanaman tumbuh bergerak menuju tempat yang banyak airnya di tanah. Jika tanaman tumbuh menjauhi air disebut hidrotropisme negatif. Misal gerak pucuk batang tumbuhan yang tumbuh ke atas air. Respons tumbuhan tanaman ditentukan oleh stimulus gradient atau konsentrasi air (kelembaban). Kelembaban menyebabkan membeloknya akar ke daerah yang mengandung air dengan konsentrasi yang lebih besar.

b. Gerak Nasti

Gerak nasti adalah gerak tumbuhan yang arahnya tidak dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan, tetapi ditentukan oleh tumbuhan itu sendiri, misalnya karena perubahan tekanan turgor.

- 1) Fotonasti. Fotonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsangan cahaya. Misalnya, gerakan mekarnya bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*) di sore hari.
- 2) Niktinasti. Niktinasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh suasana gelap, sehingga disebut juga gerak tidur. Misalnya, pada malam hari daun-daun tumbuhan polong-polongan akan menutup dan akan membuka keesokan harinya ketika matahari terbit.
- 3) Tigmonasti atau Seismonasti. Tigmonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsang sentuhan atau getaran. Contoh gerak menutupnya daun putri malu (*Mimosa pudica*) jika disentuh. Jika hanya satu anak daun dirangsang dengan sentuhan, rangsangan itu diteruskan ke seluruh tubuh tumbuhan sehingga anak daun lain ikut menutup.
- 4) Termonasti. Termonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsangan suhu, seperti mekarnya bunga tulip. Bunga-bunga tersebut mekar jika mendadak mengalami kenaikan suhu dan akan menutup kembali jika suhu turun.
- 5) Haptonasti. Haptonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh sentuhan serangga. Contohnya pada tumbuhan *Dionaea* (sejenis tumbuhan perangkap lalat). Bila ada lalat yang menyentuh bagian dalam daun, daun akan segera menutup sehingga lalat akan terperangkap di antara kedua belahan daun.
- 6) Nasti Kompleks. Merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh beberapa faktor sekaligus, seperti karbon dioksida, pH, suhu dan kadar kalsium. Contohnya : gerak membuka dan menutupnya stomata pada daun.

c. Taksis

Taksis adalah gerak seluruh tubuh atau bagian dari tubuh tumbuhan yang berpindah tempat dan arah perpindahannya dipengaruhi rangsangan. Gerakan yang arahnya mendekati sumber rangsangan

disebut taksis positif dan yang menjauhi sumber rangsangan disebut taksis negatif. Umumnya terjadi pada tumbuhan tingkat rendah.

- 1) Kemotaksis. Kemotaksis merupakan gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan zat kimia. Contohnya : gerak gamet jantan berflagela (spermatozoid) yang dihasilkan oleh anteridium lumut ke arah gamet betina (sel telur) di dalam arkegonium. Spermatozoid bergerak karena tertarik oleh sukrosa atau asam malat. Pergerakan ini terjadi karena adanya zat kimia pada sel gamet betina.
- 2) Fototaksis. Fototaksis merupakan gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan berupa cahaya. Contohnya pada ganggang hijau yang langsung menuju cahaya yang intensitasnya sedang.

d. Gerak Endonom

Gerak endonom adalah gerak yang belum/tidak diketahui sebabnya. Oleh karena itu ada yang menduga kalau tumbuhan itu sendiri yang menggerakkannya. Misalnya pada aliran plasma sel.

Molecular Approach to the Nyctinastic Movement of The Plant Controlled by a Biological Clock

Ini merupakan sebuah jurnal mengenai "Gerak Niktinastik" yang diambil dari International Journal of Molecular Sciences karya Minoru Ueda, Noboru Takada dan Shosuke Yamamura yang berasal dari Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Keio, Yokohama, Jepang. Jurnal ini menceritakan tentang "Pendekatan Molekuler untuk Gerakan Niktinasti Tanaman Dikendalikan oleh Jam Biologis". Tanaman yang diteliti adalah tanaman polong-polongan.

Kebanyakan tanaman polong-polongan menutup daun mereka di malam hari dan membuka di pagi hari. Faktor membuka dan menutupnya daun ini dipengaruhi oleh ritme sirkadian. Ritme sirkadian biasanya dikendalikan oleh jam biologis.

Ritme sirkadian merupakan pola alami dari proses fisiologis dan perilaku suatu organisme yang dihitung untuk periode 24 jam. Proses-proses ini meliputi siklus tidur-bangun, suhu tubuh, tekanan darah dan pelepasan hormon. Kegiatan ini dikendalikan oleh jam biologis. Ritme ini akan bertahan di bawah kondisi lingkungan yang konstan. Jam biologis merupakan mekanisme yang ditemukan dalam organisme hidup

yang mengkoordinasikan waktu, fungsi fisiologis dan perilaku dengan siklus siang-malam.

C. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan dengan Gerak Tumbuhan

Q.S. FUSHSHILAT:39

وَمِنْ آيَاتِهِ أَنْ تَرَى الْأَرْضَ خَاشِعَةً فَإِذَا أَنْزَلْنَا عَلَيْهَا الْمَاءَ اهْتَزَّتْ
وَرَبَتْ إِنَّ الَّذِي أَحْيَاهَا لَمُحْيٍ الْمَوْتِ إِنَّهُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٣٩﴾

Artinya: "Dan di antara tanda-tanda-Nya (Allah) bahwa kau lihat bumi kering dan gersang, maka apabila Kami turunkan air di atasnya, niscaya ia bergerak dan subur. Sesungguhnya Tuhan Yang menghidupkannya, Pastilah dapat menghidupkan yang mati. Sesungguhnya Dia Maha Kuasa atas segala sesuatu."

Ayat diatas menerangkan bahwa unsur-unsur kosmos dan lapisan tanah yang mati, apabila disiram oleh air hujan akan larut bersama air hujan. Dengan demikian, tanah itu akan mudah bergerak hingga mencapai benih dan akar berbagai macam tumbuhan yang kemudian berubah menjadi sel-sel, jaringan-jaringan, dan akhirnya organisme yang hidup. Dan dengan meresapnya air dan tumbuhnya berbagai tumbuhan, bumi menjadi tampak hidup dan bertambah besar.

D. Rangkuman

Gerakan pada tumbuhan relatif tidak terlihat, gerakan tumbuhan hanya dilakukan oleh sebagian tubuh tumbuhan dan tidak seluruhnya, tetapi hal itu juga termasuk gerak. Berdasarkan atas penyebab timbulnya gerak, dapat dibedakan antara gerak tumbuh dan gerak turgor. Berdasarkan arah rangsangannya, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi tiga, yaitu: gerak Hygroskopis, gerak etionom, dan gerak endonom (autonom). Gerak Hygroskopis disebabkan oleh perbedaan kadar air. Gerak etionom merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari luar. Sedangkan gerak endonom (autonom) merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari dalam atau dari tumbuhan itu sendiri.

Tropisme adalah gerak bagian tumbuhan yang arah geraknya dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan. Ditinjau dari macam sumber rangsangannya, tropisme dapat dibedakan lagi menjadi fototropisme, geotropisme, hidrotropisme, kemotropisme, tigmotropisme dan gravitropisme.

Gerak nasti adalah gerak tumbuhan yang arahnya tidak dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan, tetapi ditentukan oleh tumbuhan itu sendiri. Gerak nasti terbagi atas fotonasti, niktinasti, tigmonasti atau seismonasti, termonasti, haptonasti, dan nasti kompleks.

Taksis adalah gerak seluruh tubuh atau bagian dari tubuh tumbuhan yang berpindah tempat dan arah perpindahannya dipengaruhi rangsangan. Umumnya terjadi pada tumbuhan tingkat rendah, yaitu kemotaksis, fototaksis. Integrasi ayat Al-Qur'an berkaitan dengan gerak tumbuhan terdapat dalam Q.S. Fushshilat ayat 39.

BAB VIII

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN

A. Pengertian Pertumbuhan dan Perkembangan

Tumbuhan mengalami pertumbuhan dari kecil menjadi besar dan berkembang dari zigot menjadi embrio, kemudian menjadi individu yang mempunyai perangkat akar, batang, dan daun. Salah satu ciri organisme yaitu tumbuh dan berkembang. Pertumbuhan diartikan sebagai suatu proses pertambahan ukuran atau volume serta jumlah sel, proses ini terjadi secara tidak bolak-balik (irreversibel). Perkembangan didefinisikan sebagai suatu proses menuju keadaan yang lebih dewasa. Namun jika kita mengkajinya lebih dalam, proses ini tidak berjalan sendiri-sendiri, tetapi berjalan seiring. Diawali dengan pertumbuhan, lalu dilanjutkan dengan perkembangan.

Pertumbuhan dan perkembangan itu sendiri merupakan hasil interaksi antara faktor dalam dan faktor luar. Faktor yang terdapat dari dalam, antara lain sifat genetik (yang ada di dalam = gen) dan hormon yang merangsang pertumbuhan. Sedangkan faktor luar adalah lingkungan. Potensi genetik ini hanya akan berkembang jika ditunjang oleh lingkungan yang cocok. Dengan demikian, karakter/sifat yang ditampilkan oleh tumbuhan merupakan gabungan faktor genetik dan faktor lingkungan secara bersama-sama.

Peranan gen dalam mempengaruhi pertumbuhan dapat dijelaskan sebagai berikut, gen penentu pertumbuhan dan perkembangan terdapat dalam sel. Sel merupakan kesatuan hereditas karena di dalamnya terdapat gen yang bertanggung jawab dalam pewarisan sifat untuk pembentukan protein, enzim dan hormon. Pembentukan enzim dan hormon mempengaruhi berbagai reaksi metabolisme untuk mengatur dan mengendalikan pertumbuhan. Hormon berpengaruh dalam proses pembelahan dan pemanjangan sel, namun ada pula hormon yang menghambat pertumbuhan. Hormon yang menginduksi pertumbuhan adalah auksin, giberelin, sitokinin, gas etilen.

Asam absisat merupakan senyawa penghambat pertumbuhan. Asam traumalin merupakan hormon luka untuk menumbuhkan sel-sel jika terjadi luka.

Pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan biji diawali dari perkecambahan. Pada embrio atau lembaga terdapat plumula yang tumbuh menjadi batang dan radikula yang tumbuh menjadi akar. Perkecambahan pada akhir pertumbuhan membentuk akar, batang dan daun. Pada ujung-ujung akar dan batang terdapat sel-sel yang senantiasa membelah diri (meristematis), dikenal sebagai jaringan meristem ujung.

Proses pertumbuhan dan perkembangan itu sendiri adalah merupakan suatu koordinasi dari banyak peristiwa dan berlangsung pada tahap yang berbeda, yaitu dari tahap biofisika dan biokimia ke tahap organisme yang utuh dan lengkap. Prosesnya berlangsung sangat kompleks dan banyak cara yang berbeda untuk dapat memahaminya. Pertumbuhan menunjukkan suatu penambahan dalam ukuran dengan menghilangkan konsep-konsep yang menyangkut perubahan kualitas seperti halnya kedewasaan (maturity), yang tidak relevan dengan pengertian proses penambahan. Pertumbuhan dapat dicontohkan dalam bentuk volume, massa atau berat (segas atau kering).

Perkembangan merupakan suatu perwujudan dari perubahan-perubahan yang bertahap ataupun yang berjalan cepat. Pada kategori perkembangan, dapat diukur sebagai penambahan panjang, lebar atau luas. Namun tidak hanya perubahan kuantitatif saja yang dilihat, tetapi menyangkut perubahan kualitatif sel, jaringan dan organ yang elise but sebagai diferensiasi. Merupakan suatu contoh yang konkrit misalnya dalam peristiwa perkecambahan, perbungaan atau penuaan yang menghasilkan perubahan yang mendadak di dalam kehidupan atau pola pertumbuhan tumbuhan. Proses perkembangan lainnya berlangsung secara lambat atau bertahap selama proses seluruh hid up tumbuhan.

B. Pola Pertumbuhan dan Perkembangan

Ada dua aspek yang dikaji pada proses perkembangan pada pertumbuhan yaitu aspek morfologi dan anatomi, aspek fisiologi dan biokimia. Pada aspek morfologi dan anatomi yang dikaji adalah perubahan-perubahan yang teijadi, yang terlihat selama proses perkembangan tumbuhan. Perkembangan tidak terlepas dari proses fisiologi dan biokimia yang sangat menentukan perubahan morfologi suatu organisme.

C. Perkecambahan

Perkecambahan merupakan proses pertumbuhan dan perkembangan dari embrio yang mengalami perubahan dimana plumula tumbuh dan berkembang menjadi batang dan radikula tumbuh menjadi akar. Berdasarkan letak kotiledon saat berkecambah ada dua tipe perkecambahan, yaitu:

1. Perkecambahan hypogeal. Pada perkecambahan hipogeal terjadi pertumbuhan memanjang dari epikotil yang menyebabkan plumula keluar menembus kulit biji dan muncul diatas tanah. Kotiledon dan endosperma berada dalam tanah. Contohnya kacang merah dan kacang kapri.
2. Perkecambahan epigeal. Pada perkecambahan epigeal terjadi pertumbuhan memanjang akibat kotiledon dan plumula terdorong ke permukaan tanah. Kotiledon berada diatas permukaan tanah. Contohnya kacang hijau dan kacang tanah.

a. Fisiologi Perkecambahan

Embrio yang tumbuh belum memiliki klorofil sehingga embrio belum dapat membuat makanan sendiri. Pada tumbuhan dikotil, makanan untuk pertumbuhan embrio diambil dari kotiledon, sedangkan pada tumbuhan monokotil diambil dari endosperma. Perkecambahan dimulai dengan proses penyerapan air kedalam sel-sel. Proses ini merupakan proses fisika. Masuknya air pada biji menyebabkan enzim-enzim hidrolisa bekerja memecahkan tepung menjadi maltosa, dimana proses ini dihidrolisis oleh maltase selanjutnya diubah menjadi glukosa. Kemudian senyawa glukosa memasuki proses metabolisme dan dipecah menjadi energi atau diubah menjadi senyawa karbohidrat yang menyusun tubuh tumbuhan. Asam amino dirangkai menjadi protein yang berfungsi untuk menyusun enzim-enzim baru. Asam-asam lemak digunakan untuk menyusun membran sel.

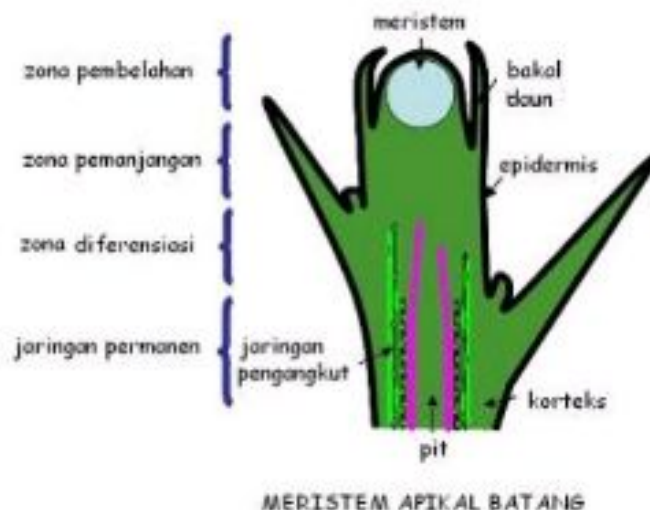
b. Pertumbuhan Primer

Aktivitas sel-sel meristem menyebabkan batang dan akar tumbuh memanjang yang disebut proses pertumbuhan primer. Pada akhir proses perkecambahan tumbuhan membentuk akar; batang, dan daun. Pada ujung batang dan akar terdapat sel-sel meristem yang dapat berdiferensiasi menjadi sel-sel yang memiliki struktur dan fungsi khusus.



Daerah pertumbuhan pada ujung batang dan akar menurut aktivitasnya dapat dibedakan menjadi tiga bagian:

- Daerah pembelahan, terdapat dibagian ujung yang sel-selnya aktif membelah dan sifatnya tetap meristem.
- Daerah perpanjangan sel, terletak dibelakang daerah pembelahan yang merupakan daerah dimana setiap sel memiliki aktivitas untuk membesar dan memanjang.
- Daerah diferensiasi merupakan daerah yang sel-selnya memiliki struktur dan fungsi khusus. Meristem ujung batang membentuk primordia daun. Pada sudut daun dan batang terdapat sel-sel yang dipertahankan sebagai sel-sel meristematis yang akan berkembang menjadi cabang.



c. **Pertumbuhan Sekunder**

Pada tumbuhan dikotil, selain terdapat jaringan meristem primer di ujung akar dan ujung batang, juga terdapat jaringan meristem sekunder. Jaringan meristem tersebut berupa kambium dan kambium gabus. Aktivitas kambium dan kambium gabus mengakibatkan pertumbuhan sekunder yaitu bertambah besarnya batang dan akar tanaman.

Adapun proses pertumbuhan sekunder adalah sebagai berikut:

- Kambium vaskuler membelah ke arah dalam membentuk xilem dan ke arah luar membentuk floem.
- Parenkim batang atau akar di antara vasis berubah menjadi kambium intervaskuler.
- Felogen membelah ke arah luar membentuk feloderm.

Pertumbuhan sekunder pada pohon dikotil tidak tetap sepanjang tahun. Pada saat musim hujan dan cukup hara, pertumbuhan sangat cepat sedangkan pada saat musim kemarau, pertumbuhan sekunder akan lambat atau terhenti.

Aktivitas kambium membentuk xilem dan floem yang lebih cepat dari pada pembentukan kulit mengakibatkan kulit pohon (korteks dan epidermis) pecah. Untuk mengatasinya felogen membentuk feloderm ke arah dalam dan floem ke arah luar. Feloderm merupakan sel hidup, sedangkan sel floem merupakan sel mati.

D. Pengaturan Pertumbuhan dan Perkembangan

1. **Pengaturan Genetika**

Setiap sel pada tumbuhan mempunyai perangkat genetik yang diturunkan dari induknya ke keturunannya dan merupakan sumber informasi untuk melaksanakan kegiatan pertumbuhan dan perkembangan. Informasi genetik diterima oleh setiap sel pada saat pembelahan sel terjadi, sehingga setiap organ pada tumbuhan dapat berkembang pada jalur yang tepat.

Dalam pemanfaatan informasi yang berkaitan dengan proses perkembangan, akan menyangkut proses pengaktifan gen dari DNA, selanjutnya akan dilakukan transkripsi mRNA dan kemudian diterjemahkan menjadi susunan asam amino yang akan membentuk protein enzim

tertentu, yang kemudian enzim ini akan digunakan pada kegiatan metabolisme dalam sel yang sesuai dengan arah perkembangannya.

Secara umum mekanisme proses pengaktifan, dilaksanakan dan diusulkan oleh F.Jacob dan J. Monod yang disebut dengan sistem operon, yakni pengontrolan sintesis protein yang diatur oleh gen pengatur, gen operator dan gen struktur. Kombinasi gen pengatur dan gen struktur disebut operon.

Mekanisme operon ini adalah bahwa gen struktur memprogram mRNA untuk enzim yang spesifik, yang berkombinasi dengan suatu gen operator yang berfungsi mengatur gen struktur menjadi aktif atau tidak. Gen pengatur membentuk suatu molekul pengatur (protein) yang disebut repressor yang menekan kerja gen operator; sehingga operon tidak aktif. Penambahan suatu molekul yang disebut inducer dapat membuka gen operator sehingga operon dapat diaktifkan. Beberapa molekul lain yang disebut korepresor dapat menutup gen dengan mengaktifkan repressor kembali sehingga operon menjadi tertutup dan tidak aktif.

Proses pengaktifan satu atau kelompok operon yang spesifik akan selalu mengarah pada satu pola perkembangan, pada satu tingkat perkembangan dapat sangat berbeda dengan arah perkembangan pada tingkat yang lain.

2. Pengaturan Organisme

Banyak perkembangan tumbuhan diperantarai oleh rangsangan dari dalam. Perkembangan dipengaruhi oleh hormon yaitu senyawa-senyawa kimia yang disintesis pada suatu lokasi, kemudian ditransportasikan ke tempat lain untuk selanjutnya bekerja melalui suatu cara yang spesifik, kebutuhan akan hormon hanya dalam konsentrasi yang sangat rendah. Hormon berperan untuk mengatur pertumbuhan, perkembangan dan metabolisme.

Beberapa kelompok hormon telah diketahui dan beberapa di antaranya bersifat sebagai zat perangsang pertumbuhan dan perkembangan (promoter), sedang yang lain bersifat sebagai penghambat (inhibitor), antara lain:

a. Auksin

Auksin adalah hormon pertumbuhan yang pertama kali ditemukan. Salah satu jenis auksin yang dapat diekstraksi dari tumbuhan adalah asam indol asetat atau IAA. Auksin ditemukan oleh Friederich August

Ferdinand Went, ahli botani Belanda pada tahun 1928 dengan dalilnya "tidak mungkin terjadi pertumbuhan tanpa adanya zat tumbuh".

Tempat sintesis auksin ialah di meristem apikal, misalnya ujung batang (tunas), daun muda dan kuncup bunga. Awalnya auksin diketahui terdapat pada ujung kecambah gandum, namun ternyata diujung-ujung tumbuhan lain juga terdapat zat yang berfungsi sama dengan auksin.

Auksin didefinisikan sebagai zat tumbuh yang mendorong elongasi jaringan kolokoptil pada percobaan-percobaan bio-assay dengan *Avena* atau tanaman lainnya. Indole Asetic Acid (IAA) adalah auksin endogen atau auksin yang terdapat pada tanaman.

Sitokinin dan auksin merupakan dua golongan zat pengatur tumbuh yang sangat penting dalam budidaya jaringan tanaman. Golongan auksin yang lebih sering digunakan adalah 2,4-D, IAA, NM, IBA. Auksin yang paling efektif untuk menginduksi pembelahan sel dan pembentukan kalus adalah 2,4-D dengan konsentrasi antara 0,2-2 mg/l untuk sebagian jaringan tanaman. NM dan 2,4 D lebih stabil dibandingkan dengan IAA, yaitu tidak mudah terurai oleh enzim-enzim yang dikeluarkan oleh sel atau karena pemanasan pada saat proses sterilisasi. IM juga kurang menguntungkan karena cepat rusak oleh cahaya dan oksidasi enzimatis.

Auksin dalam aktivitasnya, dapat bekerja sendiri atau berkombinasi dengan hormon lain, dapat merangsang atau menghambat berbagai peristiwa yang berbeda, dari mulai peristiwa reaksi enzim secara individual sampai pada pembelahan sel dan pembentukan organ.

Pengaruh Fisiologis dari Auksin:

- 1) Pembesaran sel.
- 2) Penghambatan mata tunas samping.
- 3) Menghambat absisi (pengguguran daun).
- 4) Menstimulir aktivitas dari pada kambium.
- 5) Pertumbuhan akar

b. Gibberelin

Senyawa ini ditemukan di Jepang ketika ekstrakjamur *Gibberellafujikuroi* yang menyerang tanaman padi, dapat menimbulkan gejala yang sama pada waktu disemprotkan kembali pada tanaman yang

sehat. Karakter penyakit ini menyebabkan pemanjangan ruas-ruas yang berlebihan sehingga menyebabkan tumbuhan mudah rebah.

Kerja utama dari giberelin merangsang pemanjangan sel. Giberellin (asam Giberellate) dalam dosis tinggi menyebabkan gigantisme. Giberellin berpengaruh terhadap pembesaran dan pembelahan sel, pengaruh Giberellin ini mirip dengan auksin yaitu antara lain pada pembentukan akar. Giberellin dapat menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah auksin endogen.

Disamping merangsang proses pemanjangan, giberelin juga terlibat dalam proses pembungaan. Giberelin dapat berinteraksi dengan hormon lain seperti auksin. Interaksi mereka bersifat sinergis. Namun interaksi GA dengan ABA bersifat antagonis (Harahap, 2007).

c. Sitokinin

Sitokinin yang pertama kali ditemukan ialah kinetin. Sitokinin mempunyai pengaruh terhadap berbagai proses pertumbuhan, berperan penting dalam pengaturan pembelahan sel dan morfogenesis, merangsang pembelahan sel dalam kultur sel yang diisolasi dari bagian tumbuhan. Sitokinin alami yang telah berhasil diisolasi dan diidentifikasi dari tumbuhan adalah zeatin, yang diperoleh dari endosperm jagung.

Kinetin bersarna-sama dengan auksin memberikan pengaruh interaksi terhadap diferensiasi jaringan. Pada pemberian auksin dengan konsentrasi relatif tinggi, diferensiasi kalus cenderung ke arah pembentukan primordia akar, sedangkan pada pemberian kinetin yang relatif tinggi, diferensiasi kalus cenderung ke arah pembentukan primordia batang atau tunas.

d. Etilen

Telah diketahui bahwa etilen menjadi penyebab beberapa respons tanaman seperti pengguguran daun, pembengkakan batang, pemasakan buah dan hilangnya warna buah. Etilen menghambat pertumbuhan ke arah memanjang (longitudinal) dan mendorong pertumbuhan ke arah melintang (transversal) sehingga batang kecambah terlihat membengkok. Etilen juga merubah respons geotropisma, mendorong pengguguran daun, bunga dan buah.

e. Asam Absisat

Senyawa ini lebih berperan pada dormansi dan proses absisi pada daun. Ditemukan oleh P. R Wareing, yang menamakan senyawa tersebut sebagai dormin dan absisin II, yang lebih dikenal dengan nama asam absisat (ABA). Peranan ABA sangat nyata dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. ABA berinteraksi dengan zat-zat pengatur tumbuh tanaman yang lain pada proses tersebut, biasanya interaksi ini bersifat menghambat (antagonisma).

E. Pengaturan Lingkungan

Banyak rangsangan lingkungan atau eksternal mempengaruhi perkembangan tumbuhan. Rangsangan utama lingkungan yang mempengaruhi perkembangan tumbuhan adalah:

1. Cahaya: banyaknya cahaya yang dibutuhkan tidak selalu sama pada setiap tumbuhan, dimana cahaya dapat menguraikan auksin sehingga menghambat pertumbuhan meninggi.
2. Suhu: tumbuhan membutuhkan suhu yang optimum untuk berkembang dengan baik, suhu paling rendah namun masih memungkinkan tumbuhan untuk tumbuh disebut suhu minimum.
3. Gravitasi: dimana arah dari pertumbuhan bagian organ tubuh ditentukan.
4. Kelembaban.
5. Nutrien.
6. Air.

F. Integrasi Ayat Al-Qur'an Berkaitan dengan Pertumbuhan dan Perkembangan

Terdapat dalam Q.S. Al-An'am ayat 95.

﴿إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَىٰ ۖ يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَمُخْرِجُ الْمَيِّتِ ۚ مِنَ الْحَيِّ ذَلِكُمُ اللَّهُ فَأَنَّى تُؤْفَكُونَ﴾

Artinya:

“Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup. (Yang memiliki sifat-sifat)

demikian ialah Allah, maka mengapa kamu masih berpaling?" (Qs. Al-An'am : 95)

Dalam salah satu tafsir Quraish Shihab mengatakan bahwa ayat ini menunjukkan salah satu bukti kekuasaan Allah swt., yaitu penciptaan biji dan embrio tanaman di setiap tempat yang sempit. Sedangkan bagian lain biji itu, terdiri atas zat-zat tidak hidup terakumulasi. Ketika embrio itu mulai bernyawa dan tumbuh, zat-zat yang terakumulasi itu berubah menjadi zat yang dapat memberi makan embrio. Ketika mulai pertumbuhan, dan sel-sel hidup mulai terbentuk, biji kedua berubah pula dari fase biji/bibit ke fase tunas. Saat itu tumbuhan mulai dapat memenuhi kebutuhan makanannya sendiri, dari zat garam yang larut dalam air di dalam tanah dan diserap oleh akar serabut, dan terbentuknya zat hijau daun dari karbohidrat, seperti gula dengan bantuan cahaya matahari. Ketika siklus itu sampai pada titik akhirnya, buah-buahan kembali mengandung biji-bijian yang merupakan bahan kehidupan baru lagi. Dan begitu seterusnya.

G. Rangkuman

Pertumbuhan diartikan sebagai suatu proses pertambahan ukuran atau volume serta jumlah sel, proses ini terjadi secara tidak bolak-balik (irreversibel). Perkembangan didefinisikan sebagai suatu proses menuju keadaan yang lebih dewasa.

Pertumbuhan dan perkembangan itu sendiri merupakan hasil interaksi antara faktor dalam dan faktor luar. Faktor yang terdapat dari dalam, antara lain sifat genetik (yang ada di dalam = gen) dan hormon yang merangsang pertumbuhan. Sedangkan faktor luar adalah lingkungan.

Ada dua aspek yang dikaji pada proses perkembangan pada pertumbuhan yaitu aspek morfologi dan anatomi, aspek fisiologi dan biokimia. Perkecambahan merupakan proses pertumbuhan dan perkembangan dari embrio yang mengalami perubahan dimana plumula tumbuh dan berkembang menjadi batang dan radikula tumbuh menjadi akar.

Berdasarkan letak kotiledon saat berkecambah ada dua tipe perkecambahan, yaitu: Perkecambahan hypogeal, Perkecambahan epigeal. Pengaturan Genetika, setiap sel pada tumbuhan mempunyai perangkat genetik yang diturunkan dari induknya ke keturunannya dan merupakan sumber informasi untuk melaksanakan kegiatan pertumbuhan dan perkembangan.

Pengaturan Organisme, Perkembangan dipengaruhi oleh hormon yaitu senyawa-senyawa kimia yang disintesis pada suatu lokasi, kemudian ditransfortasikan ketempat lain untuk selanjutnya beketja melalui suatu cara yang spesifik, kebutuhan akan hormon hanya dalam konsentrasi yang sangat rendah. Rangsangan utama lingkungan yang mempengaruhi perkembangan tumbuhan adalah cahaya, suhu, gravitasi, kelembaban, nutrient, dan air. Integrasi ayat Al-Qur'an berkaitan dengan pertumbuhan dan perkembangan terdapat dalam Q.S. Al-An'am ayat 95.

DAFTAR PUSTAKA

- Advinda, Linda. 2018. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Yogyakarta: Deepublish.
- Ai, Nio Song. 2012. *Evolusi Fotosintesis pada Tumbuhan*. Jurnal Ilmiah Sains, 12(1) : 28-34.
- Campbell, Neil A, dkk. 2010. *Biologi Edisi 8 Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Capriyati, R., Tohari, D. Kastono. 2014. *Pengaruh Jarak Tanam dalam Tumpangsari Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) dan Dua Habitus Wijen (*Sesamum indicum* L.) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil*. Vegetalika, 3(3): 49- 62.
- Diah R, M.Nasir, Sudjino, dan K.Dewi. 2009. *Fisiologi Tumbuhan*. Yogyakarta : Fakultas Biologi UGM.
- Dwidjoseputro.1994. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Isnaini. 2017. *Penuntun Praktikum Fisiologi Tumbuhan*. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam USU.
- Jovita, Debora. 2018. *Analisis Unsur Makro (K, Ca, Mg) Mikro (Fe, Zn, Cu) Pada Lahan Pertanian Dengan Metode Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrofotometry*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Kimbal, W. John. 1994. *Biologi Jilid 1*. Erlangga: Jakarta.
- Lakitan, Benyamin. 2004. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT Raja Grafindo.
- Lince Meriko, Abizar. 2017. *Struktur Stomata Daun Beberapa Tumbuhan*. Jurnal Ilmu-ilmu Hayati. Bogor.
- Pitopang, Ramadhanil dan Elijonahdi. 2014. *Aplikasi Ilmu Biologi Dalam Pendidikan dan Pembangunan Berwawasan Lingkungan Berbasis Sumberdaya Alam*. Biocelbes, Vol 5 No 2.

- Rahayu, dkk. *Dampak Erupsi Gunung Merapi Terhadap Lahan dan Upaya-Upaya Pemulihannya*. Ilmu Ilmu Pertanian, 29(1) : 61-72.
- Salisbury, Frank. 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid I*. Bandung: ITB.
- Tanjung, Indayana Febriani. 2017. *Diktat Biologi Umum*. Medan: FITK Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Utomo, Budi. 2007. *Fotosintesis Pada Tumbuhan*. Medan : USU e-Repository.
- Utomo, Budi. 2007. *Karya Ilmiah: Fotosintesis pada Tumbuhan*. Medan: Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Widodo, Yudi. 2011. *Strategi Sinergistik Peningkatan Produksi Pangan Dalam Hutan Lestari Melalui Wanatani*. PANGAN, 20(3) : 251-270.
- Winarno Fg, Agustinah W. 2007. *Pengantar Bioteknologi*. Bogor. Mbrio Press.
- Wiraatmaja, Wayan. 2017. *Bahan Ajar Gerak Pada Tumbuhan*. Denpasar: Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Unud.
- Wirahadikusumah, M. 1985. *Biokimia: Metabolisme Energi, Karbohidrat, dan Lipid*. Bandung: ITB Bandung.
- Yudiarti, Turrini,dkk. 2004. *Bahan Ajar Biologi*. Semarang: Universitas Diponegoro.

PROFIL PENULIS



Khairuna, lahir di Medan Pada tanggal 20 Oktober 19985 merupakan Anak dari pasangan Khairuddin dan khairani Siregar. Pendidikan dimulai dari SD Pada Tahun (1992- 1998) di SD Swasta Karang Sari Medan. Kemudian melanjutkan ke SMP Swasta Angkasa pada tahun (1998-2001), selepas itu penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Menengah Atas di SMA Swasta Angkasa pada Tahun (2001-2004).

Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan kejenjang Universitas yakni di Universitas Negeri Medan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Pendidikan Biologi pada Tahun (2004-2008). Selepas menyelesaikan S1 penulis mendaftarkan diri Kejenjang Magister Strata 2 di Universitas Negeri Medan, Program Pasca Sarjana Jurusan Pendidikan Biologi dengan program pendidikan yang sama dengan S1 dulu atau yang disebut Linear. Pada Tahun (2009-2011).

FISIOLOGI TUMBUHAN

SEBUAH PENDEKATAN TERINTEGRASI

Buku ini mengkaji tentang Fisiologi tumbuhan yang dikaitkan dengan ayat Al-quran. Menjelaskan gambaran awal tentang fisiologi tumbuhan dan menjelaskan mengenai pengertian serta ruang lingkup fisiologi tumbuhan. Fisiologi tumbuhan merupakan salah satu cabang biologi yang mempelajari tentang proses metabolisme yang terjadi didalam tubuh tumbuhan yang menyebabkan tumbuhan tersebut dapat hidup. Melalui Fisiologi Tumbuhan kita dapat memahami bagaimana sinar matahari dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk menghasilkan karbohidrat dari bahan baku anorganik berupa air dan karbondioksida.

Penulis: K. Meka
Bertut, Yogyakarta
k.meka02@gmail.com
A. maulana02011



Khairuna, M.Pd.

FISIOLOGI TUMBUHAN

SEBUAH PENDEKATAN TERINTEGRASI

